

المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف ميلة

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf –Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de génie mécanique et électromécanique



Polycopié pédagogique

Les réseaux électriques industriels

Destiné aux étudiants en Master 1 électromécanique.

Réalisé par : GUENTRI Hocine

Maitre de conférence « B »

Préface

Les réseaux électriques industriels sont le prolongement naturel du réseau du Distributeur auquel ils se raccordent, pour assurer l'alimentation des équipements industriels tels que les moteurs électriques, l'éclairage et les différentes machines de production...etc. leur conception commence toujours par une étude technique suivant le besoin en électricité, et termine par la réalisation d'un vaste ensemble de lignes, composés des câbles , des postes électriques de livraison, des dispositifs de protection, des commande et de sectionnement. Au début de ce cours, Nous allons voir la définition des différentes abréviations et symboles, qui permettent de lire aisément les différents schémas. Suivi par, un exposé détaillé sur les différentes architectures des réseaux électriques industriels, après, nous présentons les différentes perturbations et les régimes de neutre dans un réseau électrique industriel. A la fin du cours, une étude de dimensionnement sera présentée, indique les différentes composantes de ce réseau tel que la section des conducteurs, le calibre des disjoncteurs et la puissance des transformateurs utilisés.

Ce polycopié s'adresse essentiellement aux étudiants de première année master électromécanique. Aussi, À cet égard, les sociétés d'électricité et autres ingénieurs de l'industrie trouveront ce manuel très utile dans leur travail quotidien.

Les textes présentés dans ce polycopié ont été inspirés de certains guides et catalogues techniques, livres, thèses...etc.

Tout commentaire ou proposition ou critique constructive permettant l'amélioration des textes ainsi élaborés sera recueillie avec grand intérêt.

Email : hguentri2005@centre-univ-mila.dz

Liste des Abréviations

ASI	Alimentation sans interruption
CPI	Contrôleur permanent d'isolement
DDR	Dispositif différentiel résiduel
IT	Neutre isolé et masse à la terre
N	Neutre
NF	Normalement fermé
NO	Normalement ouvert
PE	Conducteur de protection
PEN	Conducteur de protection et conducteur de neutre confondus
Ph1, Ph2, Ph3	Phase 1, 2, et 3
TN	Neutre à la terre et masse au neutre
TNC	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection confondus
TNS	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection séparés
TT	Neutre à la terre et masse à la terre
Z1//Z2	Signifie que les deux impédances Z1 et Z2 sont en parallèle

Liste des figures

Figure 1: Structure générale d'un réseau électrique de distribution industriel.....	20
Figure 2: Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT.	21
Figure 3:Alimentation en double dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT	22
Figure 4: Exemple de poste de livraison HTA à comptage HT [9].....	23
Figure 5: Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	23
Figure 6: Alimentation BT par une double alimentation sans couplage	24
Figure 7:Alimentation des tableaux BT par double alimentation avec couplage.....	25
Figure 8: Les tableaux BT secourus par deux alternateurs.....	26
Figure 9: Exemple d'alimentation d'une ASI [10].....	27
Figure 10: Exemple 1 de réseau électrique industriel.....	28
Figure 11: Exemple de canalisation	33
Figure 12:Conduite électrique (gaine pré-filée)	33
Figure 13: Les goulottes	34
Figure 14: Chemin de câble.....	34
Figure 15: Creux de tension	38
Figure 16: Exemples de fluctuation de la tension	38
Figure 17: Distorsion de H1 (la fondamentale) par H3 (harmonique du troisième rang)	39
Figure 18: La décomposition de base du problème de couplage CEM.....	40
Figure 19: Défaut à la terre dans un réseau	42
Figure 20: Régime TT	44
Figure 21: Régime TN.....	45
Figure 22: Régime IT	46
Figure 23: Installation d'un limiteur de surtension et d'un contrôleur d'isolement permanent dans un système IT	49
Figure 24: Logigramme du choix des canalisations et du dispositif de protection	54
Figure 25: Les courants d'une canalisation.....	57
Figure 26: Exemple de quatre câbles jointifs	60
Figure 27: Exemple de trois couches de câbles.....	61
Figure 28: Conducteur PE entre transformateur et tableau principal BT	64
Figure 29: Section des conducteurs d'équipotentialité supplémentaire	66
Figure 30: Schéma de l'installation	69

Liste des tableaux

Tableau 1: Niveau de tension d'alimentation en fonction de la puissance souscrite	20
Tableau 2: Exemple 2 de réseau électrique industriel	29
Tableau 3: Niveau des tensions	31
Tableau 4: Choix des canalisations	35
Tableau 5: Exemples de modes de pose	36
Tableau 6: Choix du régime du neutre en fonction des récepteurs	50
Tableau 7: Facteur d'utilisation	55
Tableau 8: Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs	56
Tableau 9: Courant de déclenchement d'un dispositif de protection	58
Tableau 10: Lettre de sélection et facteur de correction de mode de pose "f1"	59
Tableau 11: Facteurs de correction f2 (influence de la température)	59
Tableau 12: Facteur de correction f3 (influence de la nature de sol)	60
Tableau 13: Facteurs de correction f41 (influence de la disposition horizontale).....	60
Tableau 14: Facteurs de correction f42 (influence de la disposition de couche).....	61
Tableau 15: Facteur de correction fn (conducteur chargé).....	61
Tableau 16: Détermination de la section d'un câble non enterré.....	62
Tableau 17: Détermination de la section d'un câble enterré.....	62
Tableau 18: Section des conducteurs de protection entre transformateur HTA/BT et tableau principal BT.....	65
Tableau 19: Section du conducteur PE des masses BT	65
Tableau 20: Chute de tension admissibles dans les réseaux BT[26]	66
Tableau 21: Valeur du coefficient k conformément à la norme NF C 15-100.....	68

Tables des Matières

Tables des Matières	6
Introduction générale.....	10
1 Chapitre 1 : Généralités	14
1.1 La normalisation.....	14
1.1.1 Définition de la normalisation:.....	14
1.1.2 Avantage des normes pour les réseaux électriques industriels.....	14
1.1.3 Organismes internationaux de normalisation:	14
1.1.4 Quelques exemples de normes:	15
1.1.5 Les organes de la normalisation en Algérie:	15
1.2 Appareillage électrique.....	15
1.2.1 Définition.....	15
1.3 Les abréviations.....	16
1.4 Symboles graphiques des schémas.....	16
2 Chapitre 2 : Les réseaux électriques industriels	19
2.1 Introduction	19
2.2 Structure générale d'un réseau industriel	19
2.3 La source d'alimentation.....	19
2.4 Les postes de livraison HTA	20
2.4.1 Les postes de livraison HTA à comptage BT.....	20
2.4.1.1 Les postes de livraison HTA à comptage BT en simple dérivation.....	21
2.4.1.2 Les postes de livraison HTA à comptage BT en double dérivation	21
2.4.2 Les postes de livraison HTA à comptage HT.....	22
2.5 Modes d'alimentation des tableaux BT.....	22
2.5.1 L'alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	23
2.5.2 L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage.....	24
2.5.3 L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage	24
2.6 Les tableaux BT secourus par des alternateurs.....	25
2.7 Les tableaux BT secourus par une alimentation sans interruption (ASI)	26
2.8 Exemples des réseaux électriques de distribution industriel standard.....	27
2.8.1 Exemple 1 (voir figure 10)	27
2.8.2 Exemple 2 (voir figure 11)	28
3 Chapitre 3 : Ouvrages électriques industriels	31
3.1 Domaine des tensions	31
3.2 Conditions d'environnement.....	31
3.3 Structures et canalisations	32
3.3.1 Définitions	32

المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف ميلة

3.3.1.1	Conducteur	32
3.3.1.2	Câble.....	32
3.3.1.3	Repérage des conducteurs	32
3.3.2	Les canalisations électriques	32
3.3.2.1	Conduits.....	33
3.3.2.2	Goulottes.....	34
3.3.2.3	Chemin de câbles.....	34
3.3.3	Mode de pose en fonction des différents types de câbles ou de canalisations.....	34
3.3.4	Exemple de modes de pose de canalisation et leur méthode de référence	35
3.4	Les perturbations dans les réseaux industriels.....	37
3.4.1	Variations de fréquence.....	37
3.4.1.1	Présence du réseau de distribution public.....	37
3.4.1.2	Une source autonome de production	37
3.4.2	Variations de l'amplitude.....	37
3.4.2.1	Creux de tension et coupures brèves	37
3.4.2.2	Fluctuations de tension (flicker)	38
3.4.2.3	Modifications de la forme d'onde : les harmoniques	38
3.4.2.4	Dissymétries du système triphasé : les déséquilibres	39
3.4.2.5	Niveaux de compatibilité électromagnétique	39
4	Chapitre 4 : Mise à la terre et sécurité dans une installation	42
4.1	Généralités:.....	Erreur ! Signet non défini.
4.2	Définition du régime du neutre:	42
4.3	La connexion du neutre à la terre:	42
4.4	Utilité des mises à la terre	43
4.5	Les types du régime de neutre:.....	43
4.5.1	Régime TT:.....	44
4.5.2	Régime TN:	44
4.5.2.1	Schéma TN-C (Mise au neutre confondus)	45
4.5.2.2	Schéma TN-S (Mise au neutre séparés)	45
4.5.3	Régime neutre isolé : IT	45
4.6	Comparaison de différents systèmes de mise à la terre en basse tension	46
4.6.1	Régime IT :	46
4.6.2	Régime TT :	47
4.6.3	Régime TN :	48
4.7	Caractéristiques d'installation spécifiques dans les systèmes BT non mis à la terre	49
4.7.1	Installation d'un contrôleur d'isolement permanent.....	49
4.7.2	Installation d'un limiteur de surtension.....	49

المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف ميلة

4.8	Choix d'un régime de neutre.....	50
5	Chapitre 5 : Calcul des installations.....	52
5.1	Introduction	52
5.2	Détermination des sections de conducteurs basse tension.....	52
5.2.1	Principe de la méthode	52
5.3	Bilan de puissance	53
5.3.1	Détermination de la puissance.....	53
5.3.2	La puissance installée	53
5.3.3	La puissance absorbée	54
5.3.4	La puissance utilisée.....	55
5.3.4.1	Facteur d'utilisation k_u	55
5.3.5	Puissance foisonnée.....	55
5.3.5.1	Facteur de simultanéité K_s	56
5.3.5.2	Facteur d'extension K_d	56
5.4	Détermination du courant maximal d'emploi	56
5.5	Choix du dispositif de protection	57
5.6	Courants maximal admissibles dans les canalisations « I_0 »	58
5.6.1	Influence du mode de pose « f_1 ».....	58
5.6.2	Influence de la température « f_2 ».....	59
5.6.3	Influence de la nature du sol « f_3 »	60
5.6.4	Influence mutuelle des circuits « f_4 ».....	60
5.6.5	Les câbles disposés en plusieurs couches « f_{42} » :.....	61
5.6.6	Conducteur Neutre chargé « f_n »	61
5.7	Section d'une canalisation BT	61
5.8	Section des conducteurs de neutre, de protection (PE), d'équipotentialité	63
5.8.1	Section du conducteur neutre	63
5.8.2	Section des conducteurs de protection (PE)	64
5.8.2.1	Section des conducteurs de protection entre transformateur HTA/BT et tableau principal BT (voir figure 28)	64
5.8.2.2	Section des conducteurs de protection des masses basse tension : (PE)	65
5.8.3	Section des conducteurs d'équipotentialité.....	65
5.8.3.1	Conducteur d'équipotentialité principale.....	65
5.8.3.2	Conducteur d'équipotentialité supplémentaire.....	65
5.8.3.3	Section des conducteurs PEN.....	66
5.9	Vérification des chutes de tension	66
5.10	Vérification des contraintes thermiques des conducteurs.....	68
5.11	Exemple d'application.....	68
6	Chapitre 6 : Câblage et maintenance	75

المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف ميلا

6.1	Introduction	75
6.2	Les causes de défaillances des installations électriques	75
6.2.1	Environnement /Pollution.....	75
6.2.2	Défauts de raccordements.....	75
6.2.3	Défauts appareillages et ventilations	75
6.2.4	Surcharges	75
6.2.5	Objets oubliés ou intrusions extérieures.....	76
6.3	Détection et Diagnostic des défauts des installations électriques par la mesure de la température.....	76
6.3.1	La surveillance thermique hier et aujourd'hui.....	76
6.3.2	La surveillance thermique de demain.....	76
6.4	L'exploitation de l'installation électrique industrielle.....	77
6.4.1	Inspection des équipements de distribution d'électricité et des tableaux:.....	77
6.4.2	Inspection des installations d'éclairage:.....	77
6.4.3	Inspection des câbles d'alimentation et installation de mise à la terre:.....	77
6.5	La maintenance industrielle.....	78
6.5.1	La maintenance corrective ou curative.....	78
6.5.2	La maintenance préventive.....	78
6.5.2.1	La maintenance préventive systématique	79
6.5.2.2	La maintenance préventive conditionnelle	79
6.6	Maintenance préventive électrique.....	79
6.6.1	Stratégies de la MPE	79
6.6.2	Critères généraux pour un MPE efficace.....	80
	Références	81

Introduction générale

Les réseaux électriques industriels sont généralement composés d'un ensemble de dispositifs tels que les postes électriques abaisseurs, les câbles, les parties de protection, de commande et de la surveillance. L'objectif de système est d'assurer une alimentation optimale en électricité, dans des bonnes conditions, livrée aux différents équipements électriques comme les moteurs électriques, l'éclairage...etc., voir figure.1.1.

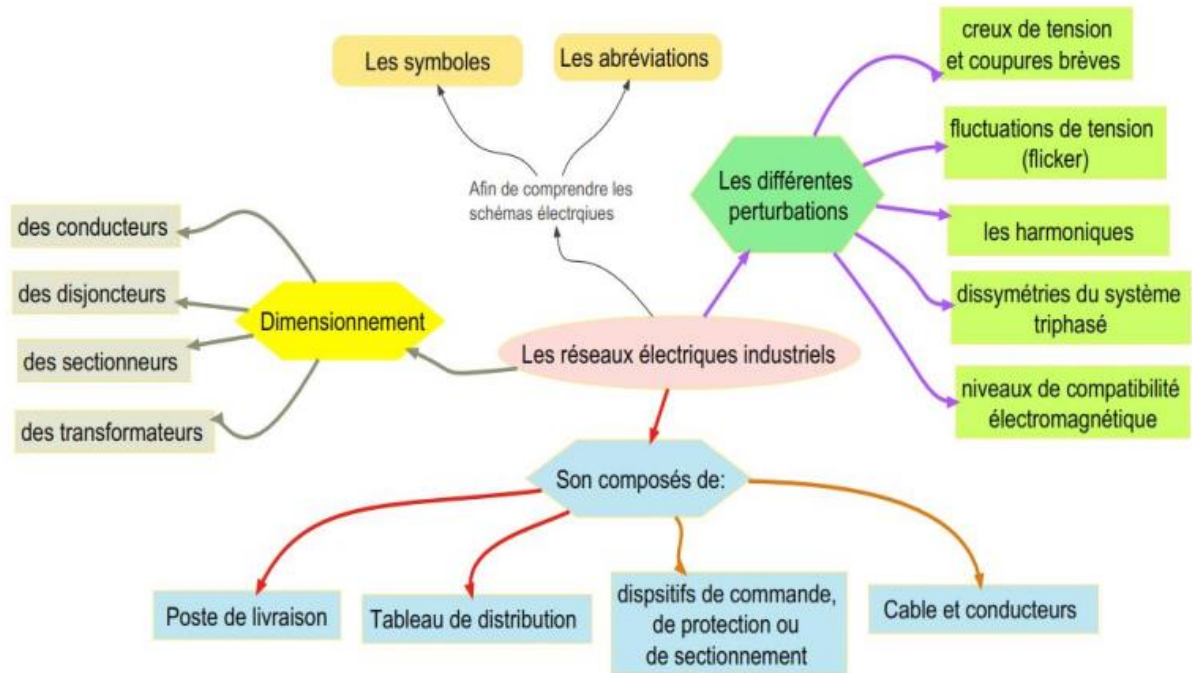


Figure 1.1. Définition des réseaux électriques industriels

Le fonctionnement des réseaux électriques industriels est essentiellement basé sur la maîtrise de la qualité de la tension, qui doit être optimale, sans interruption, avec une exploitation rationnelle, présentant un minimum de pertes de charges et à moindre coût.

Pour atteindre ces objectifs, le présent cours nous permettra d'acquérir les connaissances essentielles sur la structure générale de réseau électrique, et ses composantes. De savoir analyser et éliminer les différentes perturbations résultantes sur les réseaux électriques tels que les chutes et surtension, les défauts électriques, les harmoniques ...etc. Aussi, de pouvoir réaliser des bonnes terres de neutre, de masse ou de parafoudre. Tout en sachant comment dimensionner un réseau électrique industriel, calculer la puissance des transformateurs, et établir avec succès un bilan de puissance, et choisir les sections correctes de différents câbles, aussi parvenir à calibrer de différents disjoncteurs et fusibles.

Contenu du cours

Ce cours est destiné à la première année Master électromécanique, à cet effet nous avons adopté le plan de cours selon le canevas « Harmonisation offre de formation master académique », ci-joint dans la figure 1.2.

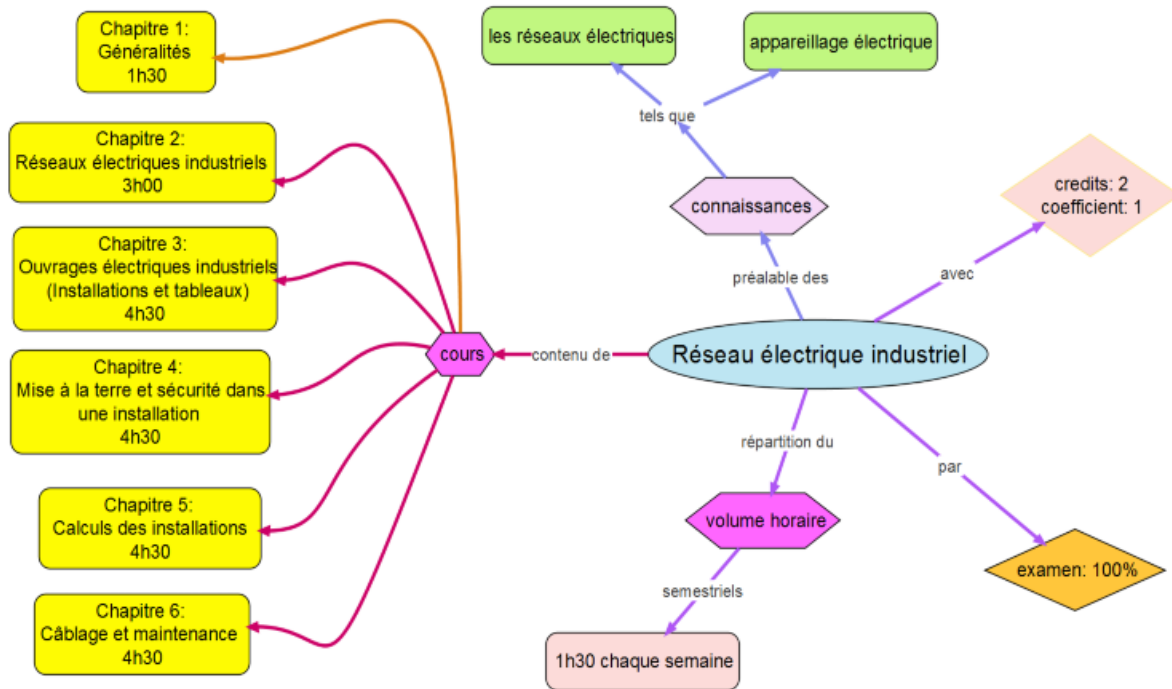


Figure 1.2. Plan du cours réseaux électriques industriels

Visées d'apprentissages

La compétence visée par ce cours, dans l'ensemble, est « *d'avoir l'aptitude de comprendre, de connaître et d'analyser n'importe quelle architecture des réseaux électriques industriels, et savoir d'améliorer la qualité et dimensionner les réseaux électriques industriels.* ».

Ces qualités requises sont construites progressivement par la maîtrise des connaissances acquises, en mettant en œuvre le savoir-faire avec un savoir-être de professionnel. Le cours réseaux électriques industriels vise à :

- En termes de connaissances, c'est d'apprendre les notions de base du fonctionnement des réseaux électriques industriels, et leurs différentes composantes.
- En termes de savoir-faire,
 - S'entraîner à améliorer la qualité des réseaux électriques industriels.
 - Dimensionner les différentes composantes d'un réseau électrique industriel.

Introduction générale

- En termes de savoir-être, comment enregistrer et signaler les différentes perturbations dans un réseau électrique industriel, et les différentes utilisations des régimes de neutre.

La figure 1.3 illustre les compétences visées par ce cours.

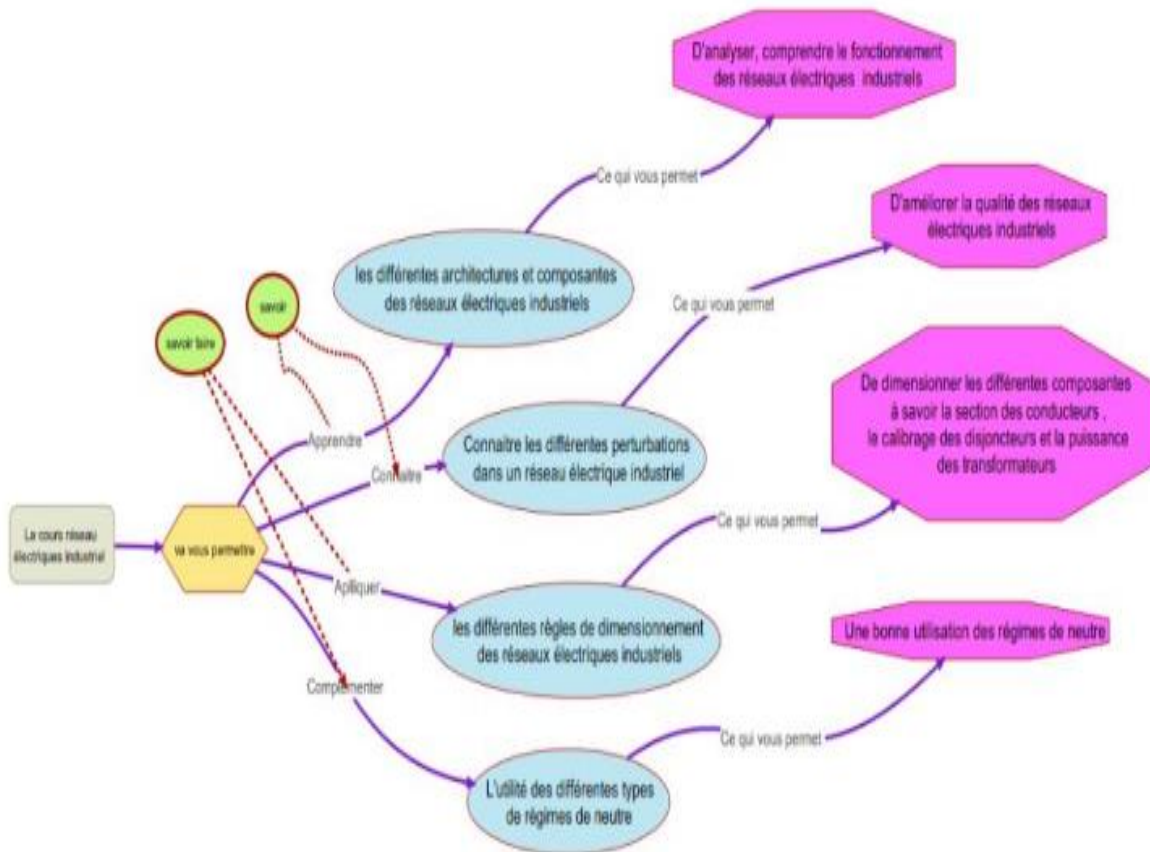


Figure 1.3. Les compétences visées

CHAPITRE 1

GENERALITES

1 Chapitre 1 : Généralités

1.1 La normalisation

1.1.1 Définition de la normalisation :

Les normes sont l'ensemble des règles approuvées destinées à un usage répété qui visent à assurer la cohérence opérationnelle de l'industrie ou de l'entreprise.

Concernant la normalisation dans les réseaux électriques, les circuits et les installations électriques sont représentés généralement en utilisant un schéma électrique. Pour cela ce dernier est donc un langage qui doit être compris par tous les utilisateurs (écriture, lecture et compréhension) de ces schémas comme les électriciens ou autres. Pour cette raison il faut respecter des règles de représentation. Elles sont classifiées dans des normes internationales. La commission électrotechnique internationale (CEI), créée en 1906, prépare des normes applicables à l'électricité et l'électronique [1].

1.1.2 Avantage des normes pour les réseaux électriques industriels

Les normes permettent d'assurer la sécurité et l'efficacité des appareils, des systèmes ou des services pour les personnes et l'environnement. Sans normalisation, certains aspects de l'industrie de l'électricité pourraient subir un dysfonctionnement partiel ou total. En outre, sans normes, il est difficile d'approuver la conformité des produits, par conséquent, certains produits peuvent être dangereux à utiliser[2].

La normalisation de l'industrie électrique garantit la cohérence des pratiques acceptées. Ces pratiques sont essentielles pour l'assurance qualité, la durabilité écologique, la sécurité des employés et du public, la responsabilité économique, la fiabilité du réseau, la compatibilité des infrastructures, l'interopérabilité des services publics, l'efficacité énergétique et l'efficacité globale

1.1.3 Organismes internationaux de normalisation :

Les normes de l'industrie sont conçues et approuvées par des organismes de normalisation reconnus pour garantir le consensus des experts en la matière. On cite :

- ISO: International Organization for Standardization;
- IEC : International Electrotechnique Commission ;
- CEN : Comité Européenne de Normalisation ;
- AFNOR : Association Française de Normalisation ;
- BSI : British Standards Institution ;
- DIN : Deutshes Institut fur Normung.

1.1.4 Quelques exemples de normes :

Dans le domaine de l'électricité, des normes récentes publiées par l'IEC:[3]

IEC 60034 : publiée le 19/11/2020 applicable aux machines électriques tournantes

IEC TS 60034-34 : publiée le 19/11/2020 : applicable aux moteurs de laminoir à vitesse variable AC

IEC 60076-10 : publiée le 02/11/2020 : Détermination des niveaux sonores d'un transformateur

IEC 60502-1 : publiée le 13/11/2020 : applicable aux câbles de puissance avec isolation extrudée et leurs accessoires pour tension nominale

1.1.5 Les organes de la normalisation en Algérie :

L'organisation et le fonctionnement de la normalisation algérienne sont régis par le décret exécutif n° 464 du 5 décembre 2005 qui définit les organes de normalisation suivants:[4], [5]

- ✚ Le conseil national de normalisation (CNNOR) ;
- ✚ L'institut algérien de normalisation (IANOR) ;
- ✚ Les comités techniques nationaux (CTN) ;
- ✚ Les organismes à activités normatives (OAN).

1.2 Appareillage électrique

1.2.1 Définition

L'appareillage électrique est un composant principal du réseau, son rôle est d'assurer la protection et le fonctionnement correct, ininterrompu d'un réseau électrique. La maîtrise parfaite de l'énergie électrique généralement nécessite tous les moyens nécessaires à la protection, de la commande et du contrôle de la circulation du courant électrique dans les réseaux, à partir des centrales de production jusqu'aux consommateurs, cette tâche délicate incombe fondamentalement à l'appareillage électrique, il doit être disponible à tout moment et puisse intervenir sans échec, au point de faire oublier qu'il existe.

La réglementation définit trois fonctions de base pour les appareillages dans la conception d'une installation électrique [6].

a. Fonction de sectionnement :

Le rôle des sectionneurs est d'ouvrir visiblement en un point quelconque une installation électrique sans charges [7].

b. Fonction de commande :

Il existe deux types de commande : La commande fonctionnelle et la commande de sécurité [7].

Chapitre 1 : Généralités

- La commande fonctionnelle (service normal) assure la mise en « ON » ou « OFF » d'un système électrique.
- La commande de sécurité (arrêt d'urgence) assure la mise en « OFF » d'un système électrique lors d'un danger pour les biens ou les personnes.

c. Fonction de protection :

Cette fonction limite les conséquences destructrices ou dangereuses d'une surintensité ou d'un défaut d'isolation et sépare les pièces défectueuses du reste de l'équipement. Le dispositif de protection doit laisser en permanence le courant nominal (I), ainsi que les surintensités normales. Il doit réaliser la coupure de sécurité et participer à la protection du personnel contre les contacts indirects.

1.3 Les abréviations








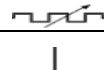
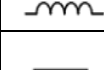
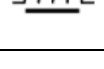
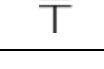

Les différentes abréviations utilisées dans les réseaux électriques sont citées ci-dessous.

ASI	Alimentation sans interruption
CPI	Contrôleur permanent d'isolement
DDR	Dispositif différentiel résiduel
IT	Neutre isolé et masse à la terre
N	Neutre
NF	Normalement fermé
NO	Normalement ouvert
PE	Conducteur de protection
PEN	Conducteur de protection et conducteur de neutre confondus
Ph1, Ph2, Ph3	Phase 1, 2, et 3
TN	Neutre à la terre et masse au neutre
TNC	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection confondus
TNS	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection séparés
TT	Neutre à la terre et masse à la terre
Z1//Z2	Signifie que les deux impédances Z1 et Z2 sont en parallèle
































1.4 Symboles graphiques des schémas.

Chaque équipement électrique est désigné par un symbole qui le représente dans un schéma.

Les symboles sont standardisés par les organismes de normalisation.

	Ligne ou câble triphasé		Court-circuit		Départ
	Ligne ou câble monophasé		Prise de terre		Arrivée d'une alimentation
	Résistance		Résistance variable		Inductance
	Inductance avec noyau de fer		Condensateur		Impédance

Chapitre 1 : Généralités

	Enroulement en étoile		Enroulement en delta		Varistance ou parafoudre
	Eclateur ou limiteur de tension		diode		thyristor
	onduleur		redresseur		transformateur
	Transformateur muni d'un régleur en charge		Transformateur de tension		Neutre artificiel ou générateur homopolaire
	Transformateur du courant		Générateur ou alternateur		Génératrice asynchrone
	moteur		Source de courant		comptage
	Appareil de mesure		Prise électrique		Interrupteur sectionneur
	sectionneur		fusible		Interrupteur fusible
	disjoncteur		Disjoncteur muni d'un déclencheur sur surcharge (thermique) et court-circuit (magnétique)		contacteur
	Contacteur fusible		Disjoncteur débloable		Inverseur de source de type interrupteur
	Inverseur de source de type disjoncteur				

CHAPITRE 2

Réseaux électriques industriels

2 Chapitre 2 : Les réseaux électriques industriels

2.1 Introduction

Les réseaux électriques industriels sont une extension naturelle du réseau de distribution électrique auquel ils sont connectés et peuvent répondre aux besoins de l'industrie en énergie électrique. Ces réseaux sont de nature complexe et constamment modifiés, ils sont optimisés et améliorés pour répondre aux besoins d'adaptation et de modernisation.

2.2 Structure générale d'un réseau industriel

L'architecture d'un réseau de distribution électrique industriel dépend plus ou moins du niveau de tension, de la puissance demandée et de la sécurité électrique requise [8].

Généralement, avec une alimentation en HTB, un réseau de distribution électrique industriel comprend (voir Figure 1) :

- Un poste de livraison HTB (60kV ou 220kV) alimenté par une ou plusieurs sources, composé d'un ou plusieurs jeux de barres et de disjoncteurs de protection ;
- Une source de production interne (par exemple un groupe électrogène, ou une source solaire photovoltaïque)
- Un ou plusieurs transformateurs HTB / HTA (60kV/30kV) (selon le besoin)
- Un tableau de distribution principal HTA (30kV) composé d'un ou plusieurs jeux de barres
- Un réseau de distribution électrique interne en HTA (30kV) alimentant des tableaux de distribution électriques secondaires ou des postes transformateurs HTA/ BT
- Des récepteurs HTA (des charges HTA)
- Des postes transformateurs HTA/BT (30kV/380V)
- Des tableaux de distribution et des réseaux basses tensions
- Des réceptrices basses tensions.

2.3 La source d'alimentation

En Algérie, l'alimentation des réseaux électriques industriels peut être réalisée, soit :

- En HTB, cela signifie que la tension dépasse 50kV, généralement 60kV, 90kV, 150kV ou 220kV.
- En HTA, la tension est de 1 kV à 50 kV, généralement en Algérie 30 kV.
- En BT, la tension est inférieure à 1 kV, généralement en Algérie 380V.

La tension de l'alimentation est liée à la puissance demandée par le consommateur. Plus la puissance requise est élevée, plus la tension doit être élevée. Le tableau 2 présente les niveaux

de tension d'alimentation généralement sélectionnés en Algérie en fonction de la puissance demandée.

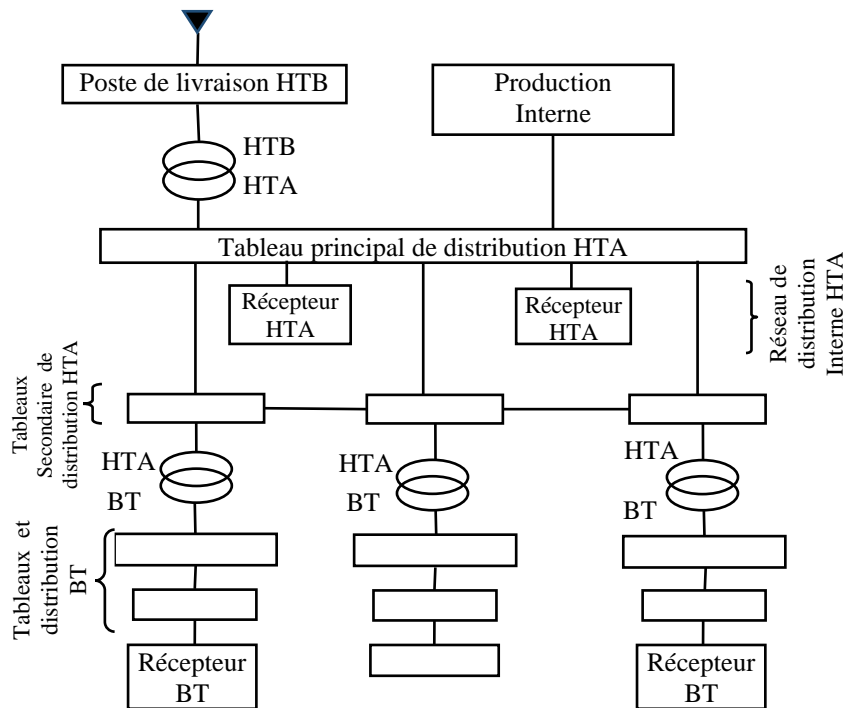


Figure 1: Structure générale d'un réseau électrique de distribution industriel

Tableau 1: Niveau de tension d'alimentation en fonction de la puissance souscrite

Tension d'alimentation	0 250 KVA	250 10000 KVA	10000 40000 KVA	>40000 KVA
BTA				
HTA				
HTB60kV ou 90kV				
HTB 220kV				

2.4 Les postes de livraison HTA

Ils sont généralement liés à une puissance comprise entre 250 kVA et 10 MVA. En Algérie, il existe deux types de poste de livraison moyenne tension HTA selon que le comptage est effectué au niveau de la BT ou bien au niveau de la HTA.

2.4.1 Les postes de livraison HTA à comptage BT

Ils n'ont qu'un seul poste transformateur avec un courant secondaire inférieur ou égal à 2000 A, pour une tension BT de 380 V, la puissance généralement est inférieure ou égale à 1250 kVA.

2.4.1.1 Les postes de livraison HTA à comptage BT en simple dérivation

Si le courant nominal est supérieur ou égal à 45 A, la cellule de protection universelle P doit être un disjoncteur (voir NF C 13-100 § 433.1). Ce type de poste de livraison est généralement utilisé pour la distribution public HTA, et le distributeur fournit qu'une seule source d'alimentation, voir Figure 3.

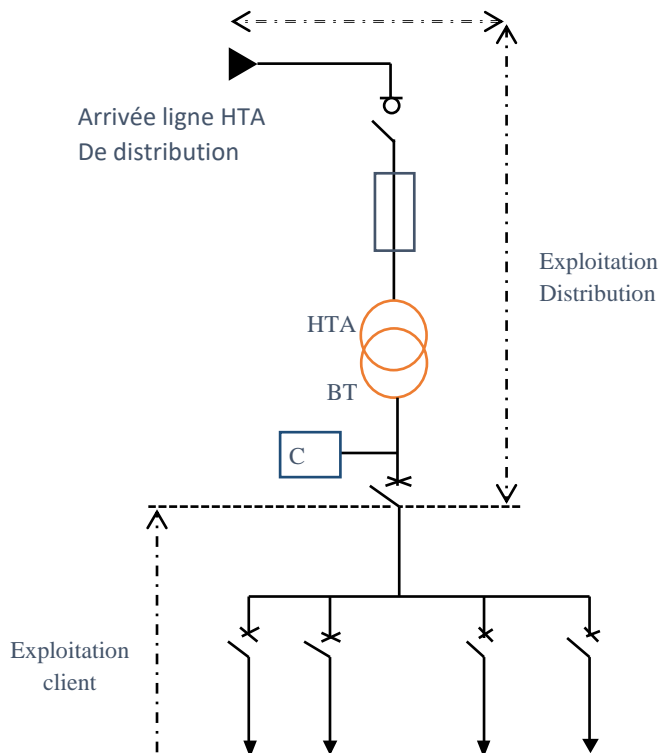


Figure 2: Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT.

2.4.1.2 Les postes de livraison HTA à comptage BT en double dérivation

Dans ce cas, le réseau de distribution public HTA dispose de deux câbles souterrains indépendants parallèles, le poste de livraison peut être alimenté par l'un de ces deux câbles comme indiqué dans la figure 3. Considéré comme solution alternative, en cas de coupure de l'électricité au niveau de poste de livraison, généralement réalisée automatiquement, ou manuellement, suivant le besoin, Le recours à cette opération est très coûteuse pour les distributeurs, son utilisation est limitée lorsque la disponibilité d'électricité jugé très importante (les frais supplémentaires sont généralement payés par l'utilisateur). Ce type de tableau est notamment utilisé dans les réseaux à forte densité de charge et dans les zones urbaines en expansion rapide alimentées par des systèmes de câbles souterrains HTA.

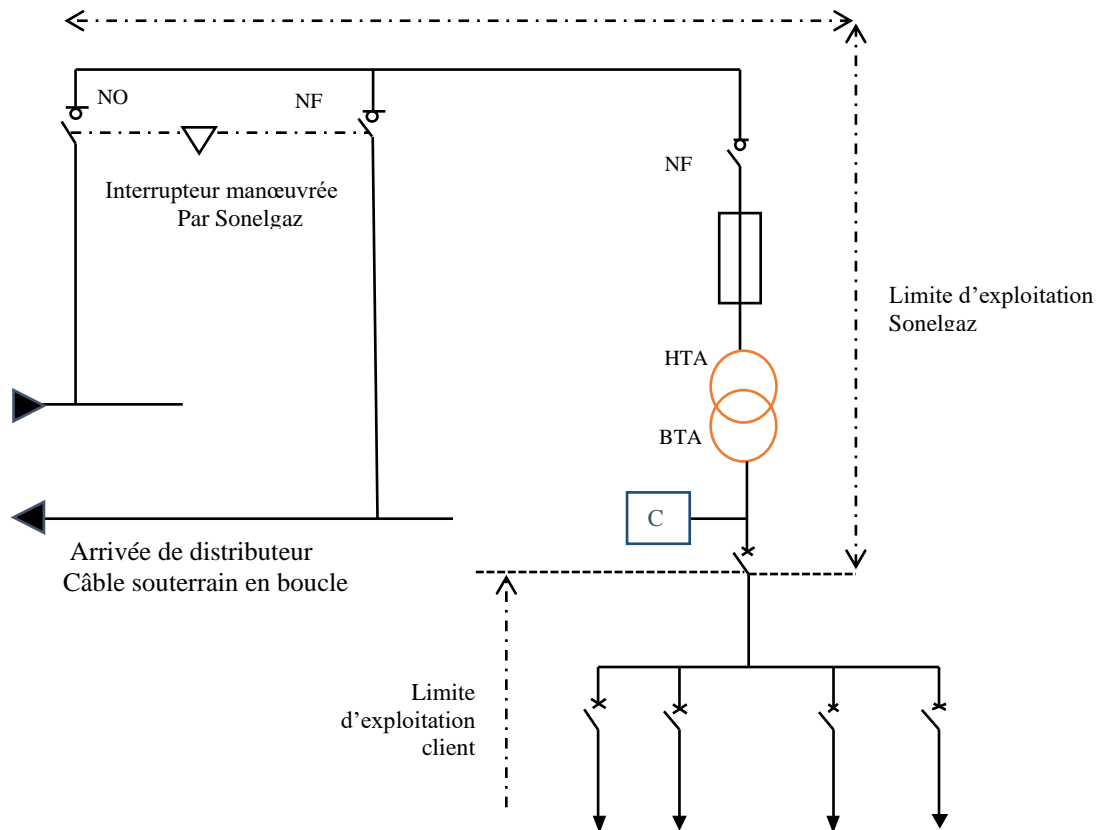


Figure 3: Alimentation en double dérivation d'un poste de livraison HTA à comptage BT

2.4.2 Les postes de livraison HTA à comptage HT

Le poste de livraison HTA peut comprendre plusieurs transformateurs HTA/BT et départs sortants, voir figure 4. Identique aux postes de livraison à comptage BT, l'alimentation par le distributeur peut être en simple dérivation, ou double dérivation [9].

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

2.5 Modes d'alimentation des tableaux BT

Nous allons maintenant étudier les principales modalités d'alimentation d'un tableau BT, quel que soit son emplacement dans le réseau.

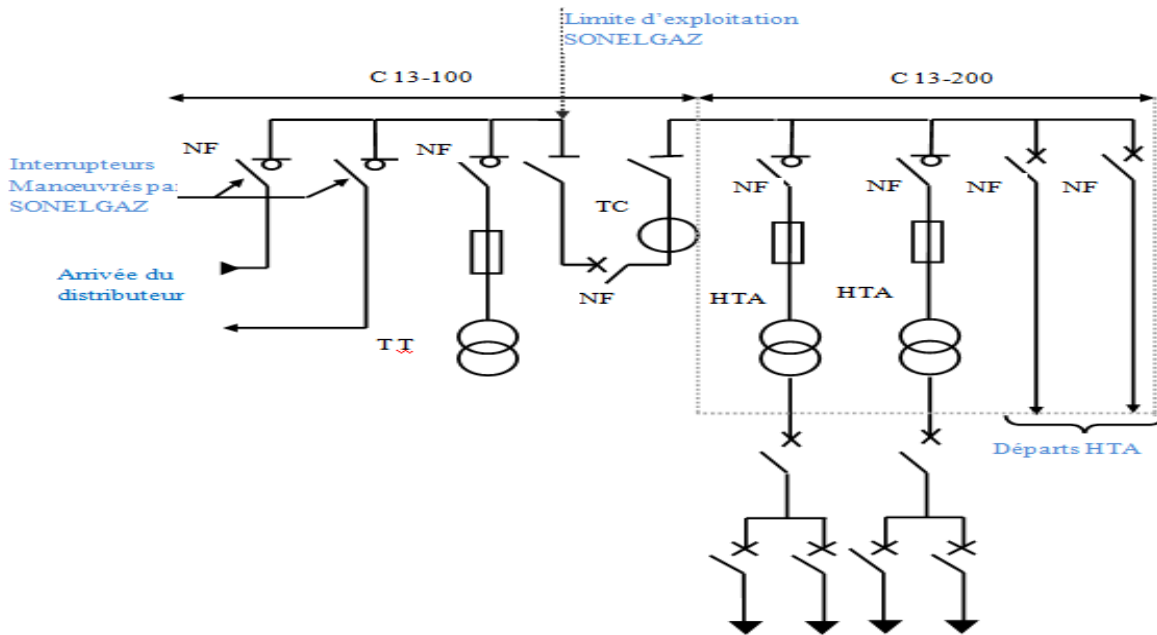


Figure 4: Exemple de poste de livraison HTA à comptage HT [9]

2.5.1 Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Dans ce cas on utilise une seule source HTA pour l'alimentation des tableaux BT comme indiqué dans la figure 5.

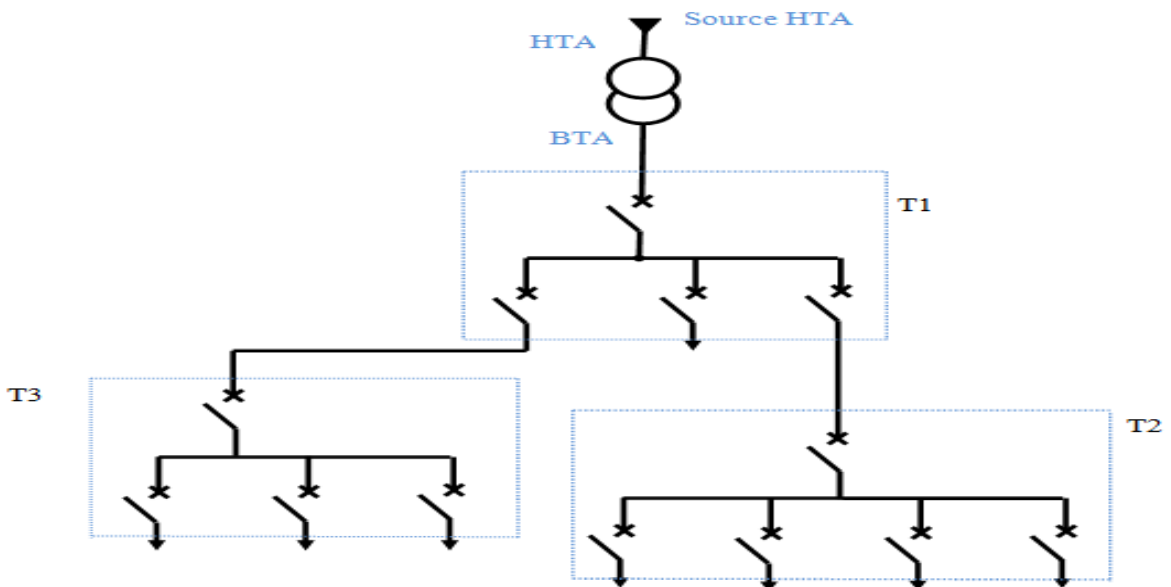


Figure 5: Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Les tableaux T1, T2 et T3 n'ont qu'une seule source d'alimentation. Le réseau est dit de type radial arborescent. Si cette alimentation est coupée (hors service), les tableaux cesseront de fonctionner jusqu'au rétablissement de l'alimentation.

2.5.2 Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

Dans ce cas on utilise deux sources HTA pour l'alimentation des tableaux BT sans utiliser le couplage entre les différents tableaux, comme indiqué dans la figure 6.

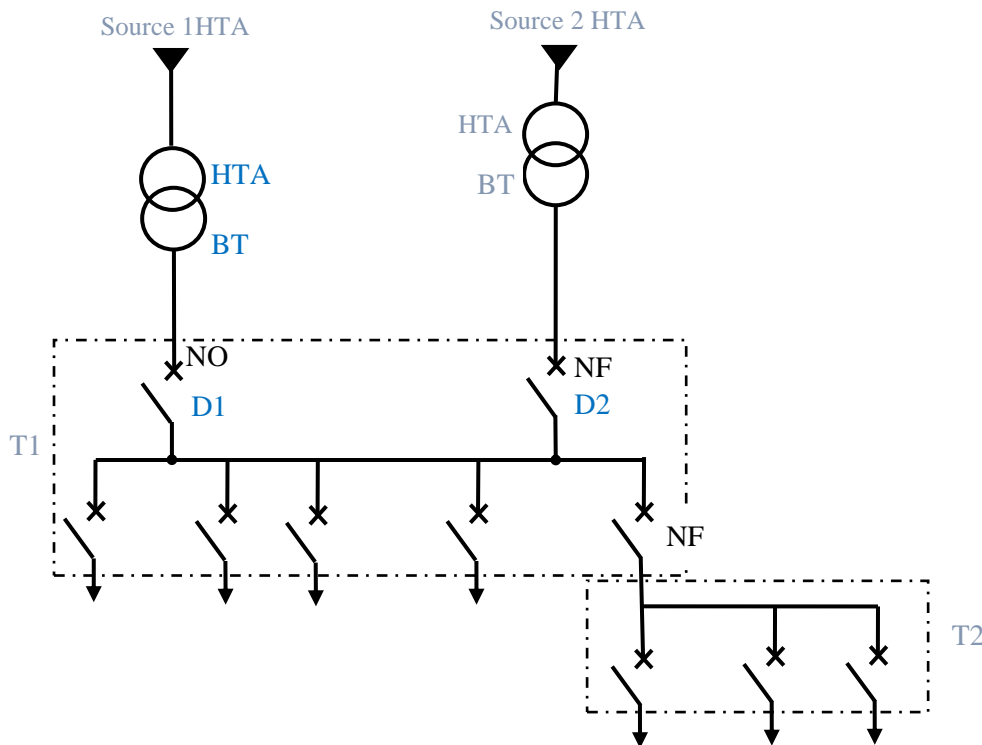


Figure 6: Alimentation BT par une double alimentation sans couplage

Le tableau T1 dispose d'une double alimentation sans couplage via deux transformateurs HTA/BT. Une source alimente le tableau T1 et la seconde fournit une alimentation de secours, en fonctionnement normal, un seul disjoncteur est fermé (D1 ou D2). Le tableau secondaire T2 bénéficie d'une seule alimentation BT issue du tableau principal T1.

2.5.3 Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

Le tableau T1 dispose d'une double alimentation avec couplage via deux transformateurs HTA / BT. En fonctionnement normal, le disjoncteur de découplage D3 est ouvert. Chaque source alimente une partie de T1, En cas de perte d'une source d'alimentation, le disjoncteur de couplage D3 est fermé et une seule source alimente la totalité de T1.

Le tableau secondaire T2 est alimenté par double source d'alimentation avec couplage, la première alimentation via la source 3 HTA, tandis que la deuxième alimentation est un départ BT issu du tableau principal. En fonctionnement normal, le disjoncteur découplage D6 est ouvert. Chaque source alimente une partie de T2. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage D6 est fermé et l'autre source alimente la totalité de T2 [9].

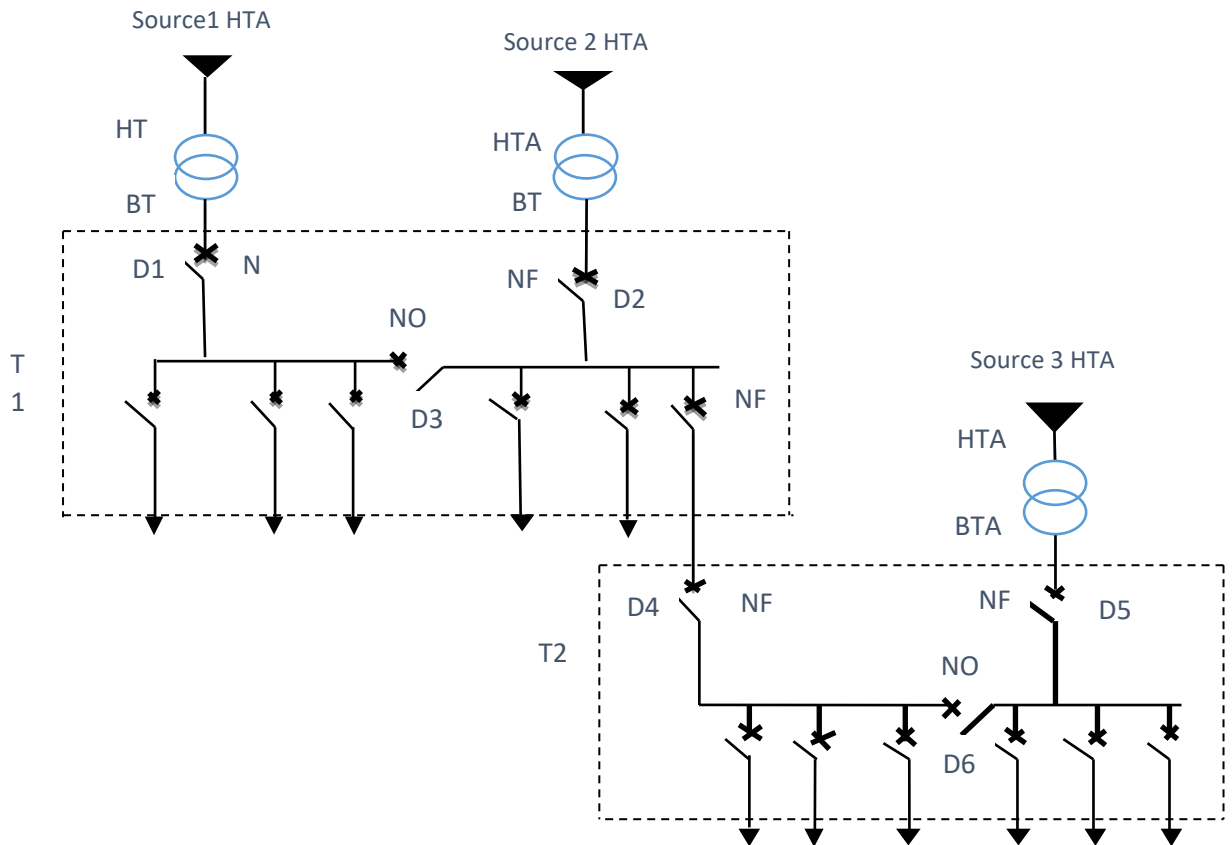


Figure 7:Alimentation des tableaux BT par double alimentation avec couplage

2.6 Les tableaux BT secourus par des alternateurs

Dans cette partie, nous allons voir les tableaux BT alimentés par des sources de distribution secourus par des alternateurs (groupes électrogènes) en cas de perte de ces sources, comme illustré sur la figure 8.

Le tableau de distribution T1 est alimenté par les deux sources HTA 1 et 2. En fonctionnement normal, le disjoncteur D1 de couplage entre les deux parties de T1 est ouvert. Le dispositif normal/secours est sur la position D2 fermé et D3 ouvert.

En cas de l'indisponibilité de l'une des deux sources 1 ou 2, le secours d'une des deux parties du tableau T1 est assuré prioritairement par l'autre source, en fermant le disjoncteur découplage D1. On fait recours aux alternateurs qu'après la perte des deux sources principales d'alimentation.

Le déroulement des étapes de sauvegarde de l'alimentation des circuits prioritaires est comme suit :

1. Fonctionnement du dispositif normal/secours, ouverture de D2.

2. Délestage éventuel d'une partie des récepteurs des circuits prioritaires, afin de limiter l'impact de charge subi par les alternateurs.
3. Démarrage des alternateurs.
4. Fermeture de D3 lorsque la fréquence et la tension de l'alternateur sont à l'intérieur des plages requises.
5. Relestage des récepteurs éventuellement délestés à l'étape 2.

Lorsque l'une des sources normales est de nouveau en état de marche, le dispositif normal/secours bascule l'alimentation de T1 sur cette source et les alternateurs sont arrêtés.

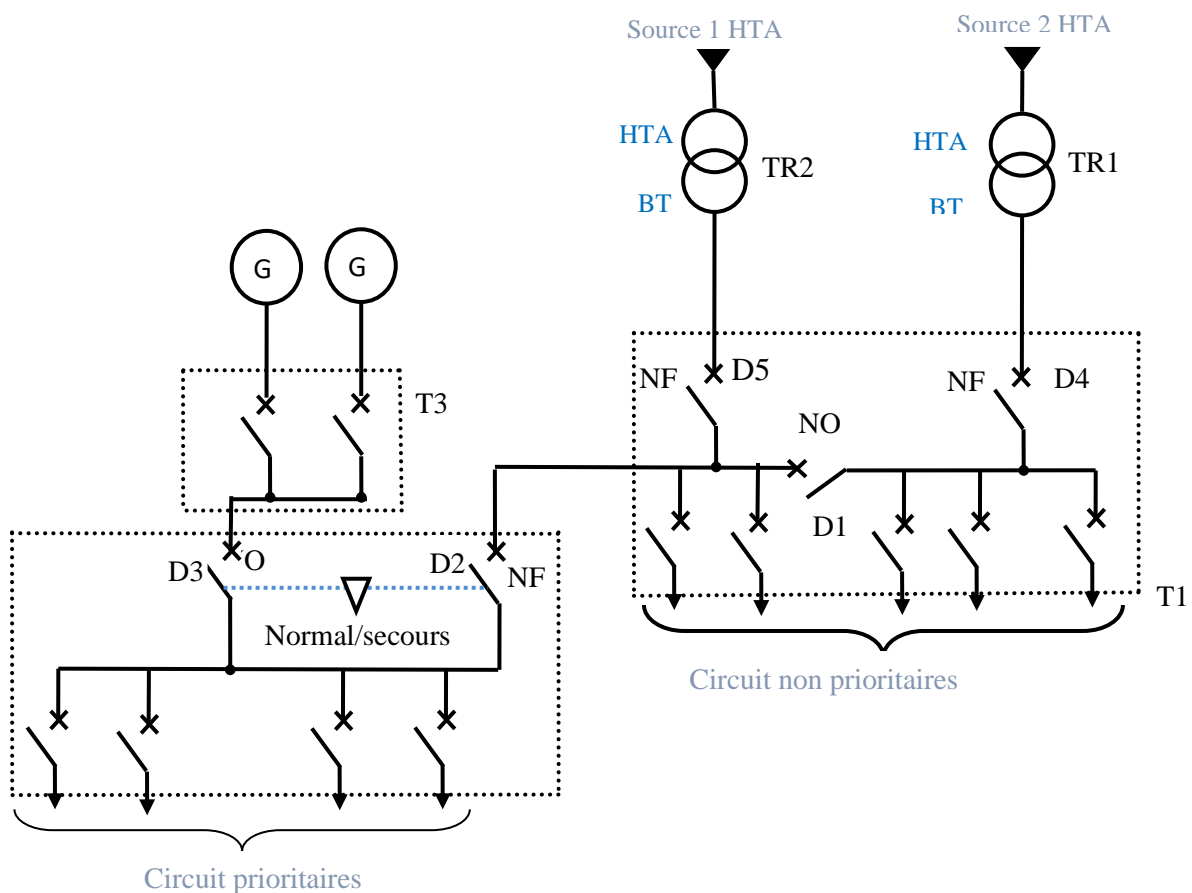


Figure 8: Les tableaux BT secours par deux alternateurs

2.7 Les tableaux BT secours par une alimentation sans interruption (ASI)

L'utilisation d'une **Alimentation Sans Interruption (ASI)** assure une alimentation à tous les types d'équipements et permet de résoudre les problèmes dus à certaines perturbations, voir figure 9. L'énergie électrique d'une ASI est fournie à partir d'un dispositif de stockage : batterie d'accumulateurs. Ce système permet d'éviter toute coupure d'alimentation. L'autonomie du système est limitée : de quelques minutes à quelques heures [10]. La présence d'une ASI est impérative, pour prévenir intégralement des coupures d'électricité indésirables.

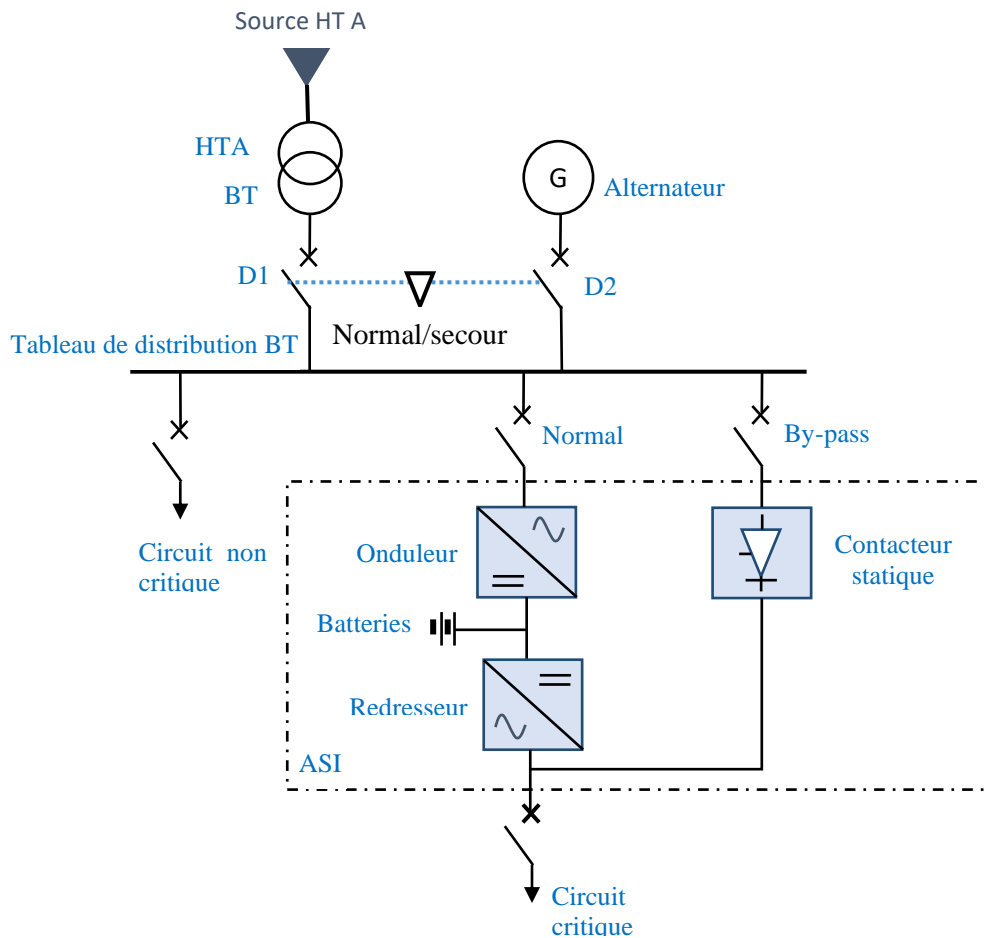


Figure 9: Exemple d'alimentation d'une ASI [10]

L'onduleur est synchronisé en fréquence et en phase avec le réseau de la source HTA est destiné à charger la batterie. Ainsi, le contacteur statique peut permuter instantanément l'alimentation vers le deuxième réseau entrée côté By-pass (en un temps inférieur à 1 ms). En cas de la perte d'une source soit la source HTA ou le groupe électrogène, le circuit critique est alimenté par les batteries à travers le redresseur.

2.8 Exemples des réseaux électriques de distribution industriel standard

2.8.1 Exemple 1 (voir figure 10)

Le réseau électrique de distribution industriel de la figure 10 est constitué comme suit :

- ❖ Un poste de livraison HTA à comptage BT, en coupure double dérivation ;
- ❖ Un tableau principal basse tension secouru par un alternateur (groupe électrogène)
- ❖ Un tableau prioritaire alimenté par une alimentation sans interruption
- ❖ Un réseau à basse tension de type radial arborescent. Le tableau secondaire et les tableaux terminaux sont alimentés par une seule source.
- ❖ Batterie de condensateur pour la compensation de la puissance réactive.

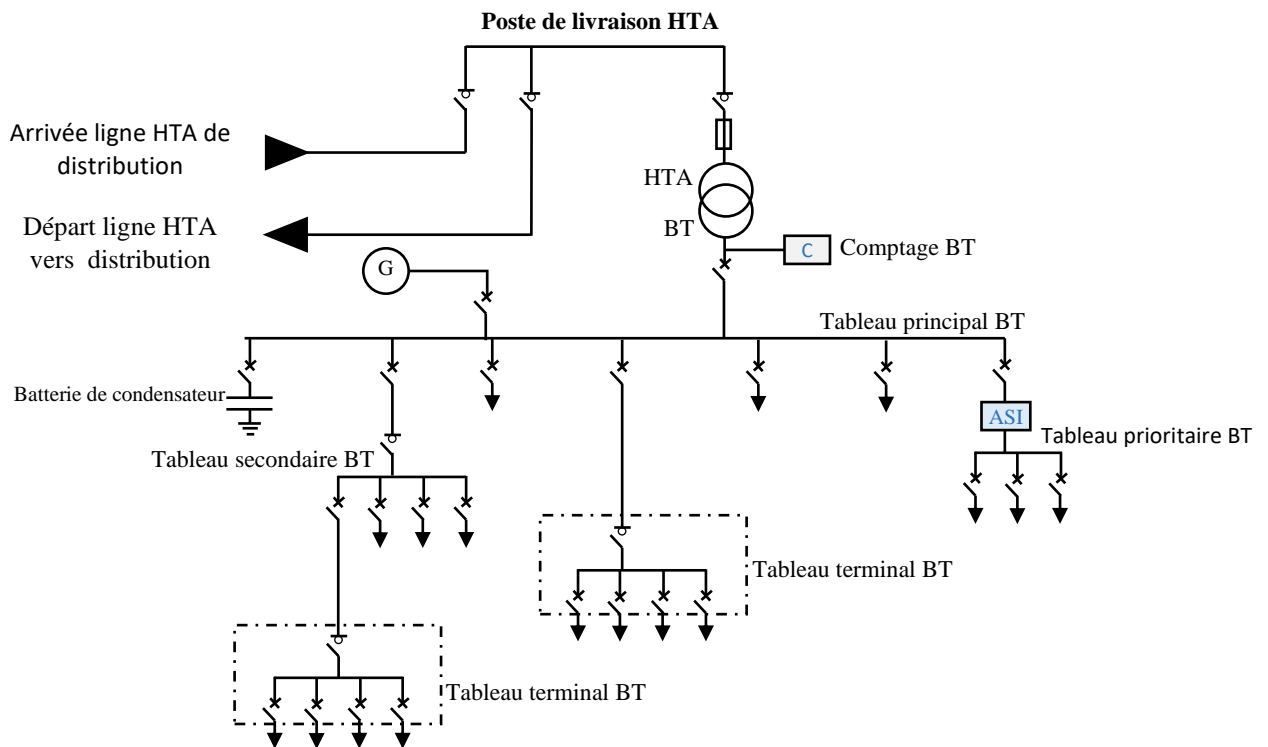


Figure 10: Exemple 1 de réseau électrique industriel

2.8.2 Exemple 2 (voir figure 11)

Structure du réseau :

- ❖ Une source d'alimentation HTA ;
- ❖ Le tableau principal HTA peut être secondé par un groupe électrogène et il alimente deux transformateurs HTA/BT ;
- ❖ Le tableau principal basse tension alimenté par double alimentation avec couplage ;
- ❖ Chaque section du tableau principal basse tension à une ASI alimentant un circuit prioritaire ;
- ❖ Les tableaux secondaires, les boîtes à bornes et les centres de commande de moteurs sont alimentés par une seule source.

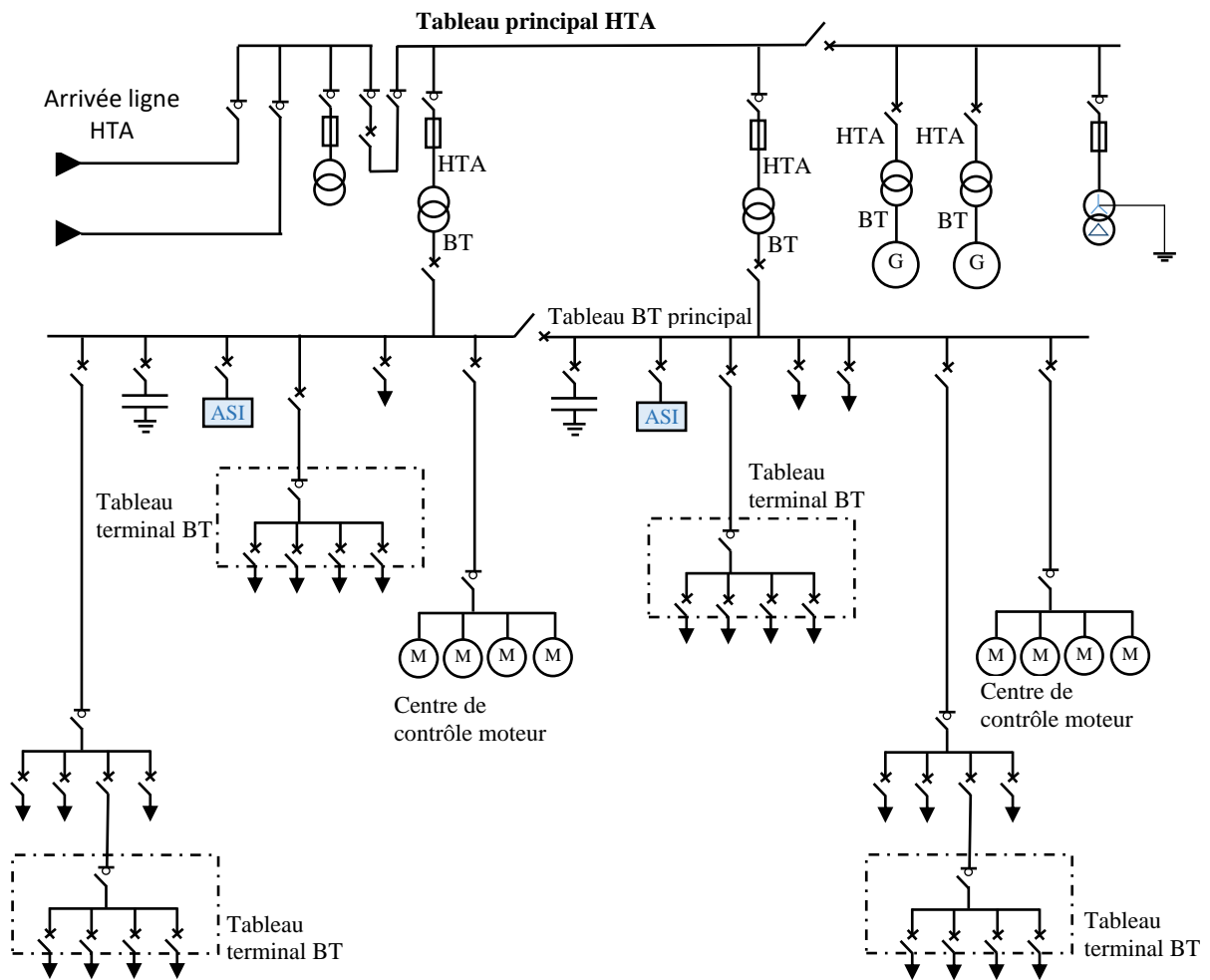


Tableau 2: Exemple 2 de réseau électrique industriel

CHAPITRE 3

Ouvrages électriques industriels

3 Chapitre 3 : Ouvrages électriques industriels

3.1 Domaine des tensions

Les domaines de tension sont définis par le type du courant **alternatif** ou **continu**, par le type de tension **haute** et **basse**, comme indiqué dans le tableau 1 [11]. Le domaine de tension est important en matière d'habilitation électrique, puisqu'il conditionne les champs d'intervention du personnel selon le niveau d'habilitation obtenu.

Tableau 3: Niveau des tensions

Nom	Abréviation	Valeur en courant continu	Valeur en courant alternatif
Haute tension	HTB	>75Kv	>50Kv
Haute tension	HTA	1500V < HTA < 75Kv	1000V < HTA < 50Kv
Basse tension	BT	120V < BTB < 1500V	50V < BTB < 1000V
Très Basse	TBT	<120V	<50V

En Algérie les niveaux de tensions utilisés sont :

HTB: 60kV, 90kV, 150kV, 220kV, 400kV.

HTA : 30kV aérien, 30kV et 10kV souterrain.

BT :380V

3.2 Conditions d'environnement

Les caractéristiques des équipements et des matériels sont données dans des conditions environnementales standard. Après avoir connaître les paramètres liés aux conditions réelles du site, le concepteur peut introduire des facteurs de correction ou de déclassement pour l'équipement[12].

Parmi les conditions d'environnement, le concepteur doit s'intéresser par ce qui suit :

- ❖ L'existence d'un risque d'explosion en présence de gaz ou de produits inflammables dans l'atmosphère, ce qui détermine le niveau de protection de l'équipement ;
- ❖ Les risques de séisme ;
- ❖ L'altitude ;
- ❖ Les températures moyennes et maximales ;
- ❖ La résistivité du sol ;
- ❖ La présence de givre, de vent et de neige ;
- ❖ Le niveau kéraunique de la région pour la protection de l'installation contre les dangers de la foudre ;

- ❖ La pollution atmosphérique (poussière, corrosion, taux d'humidité) ;
- ❖ Les réglementations sur les sites (établissement recevant du public, immeuble de grande hauteur, ...).

3.3 Structures et canalisations

3.3.1 Définitions

3.3.1.1 Conducteur

Un conducteur comprend une simple âme métallique avec ou sans enveloppe isolante.

3.3.1.2 Câble

Un câble est constitué d'un certain nombre de conducteurs, électriquement séparés mais mécaniquement solidaires, généralement enrobés dans une gaine protectrice souple [13].

3.3.1.3 Repérage des conducteurs

Les repérages respectent toujours les trois règles suivantes :

Règle 1

La double coloration vert-et-jaune est exclusivement réservée au conducteur de protection PE et PEN.

Règle 2

Lorsqu'un circuit comporte un conducteur neutre, celui-ci doit être repéré en bleu clair (ou par le chiffre 1 pour les câbles à plus de 5 conducteurs).

Lorsqu'un circuit ne comporte pas de neutre, le conducteur bleu clair peut être utilisé comme conducteur de phase s'il est intégré à un câble à plus d'un conducteur.

Règle 3

Les conducteurs de phase peuvent être repérés par toute couleur sauf :

- Vert-et-jaune (voir règle 1).
- Bleu clair (voir règle 2).

Généralement les conducteurs dans un câble sont identifiés, soit par leur couleur, soit par des chiffres.

3.3.2 Les canalisations électriques

Les canalisations électriques sont composées de conducteurs ou de câbles et de dispositifs de protection mécanique (tels que conduits, plinthes ou goulottes). Ce sont caractérisées généralement par l'ensemble de trois éléments qui sont (voir figure 11) :

- Des conducteurs ou un câble qui assure la transmission de l'énergie électrique ;

- Des conduits, chemins de câbles, moulures, goulottes, caniveaux qui assurent la protection mécanique ;
- Des modes de fixation ou de pose qui prennent en compte le montage de la canalisation, sur les parois, dans le sol, en l'air, ou dans l'eau.



Figure 11: Exemple de canalisation

3.3.2.1 Conduits

Un conduit est un matériel de pose constitué d'éléments tubulaires, non ouvrants et conférant à des conducteurs isolés, des câbles unipolaires ou multipolaires, une protection qui s'ajoute à l'isolation du câble comme indiqué dans la figure 12 [14]. Peut être posé en apparent, en encastré, dans les vides de construction et dans les caniveaux fermés.



Figure 12: Conduit électrique (gaine pré-filée)

Les conduits sont faits de différents matériaux qui garantissent des qualités suivantes :

- Un bon comportement à l'écrasement ou de choc à l'aide d'une bonne résistance mécanique.
- D'étanchéité à l'eau.
- Résistance aux températures élevées.
- Non propagation de la flamme.
- Protection contre les condensations internes.
- Facilité la mise en œuvre.

3.3.2.2 *Goulottes*

Enveloppe étanche avec couvercle amovible conçu pour protéger complètement les conducteurs isolés ou les câbles utilisés pour alimenter des circuits ou des équipements, comme illustré à la Figure 13.



Figure 13: Les goulottes

3.3.2.3 *Chemin de câbles*

Un chemin de câbles (ou tablettes) est un support de câbles constitué d'une base continue et de rebords, et ne comportant pas de couvercle. Il peut être perforé ou non, comme indiqué dans la figure 14.

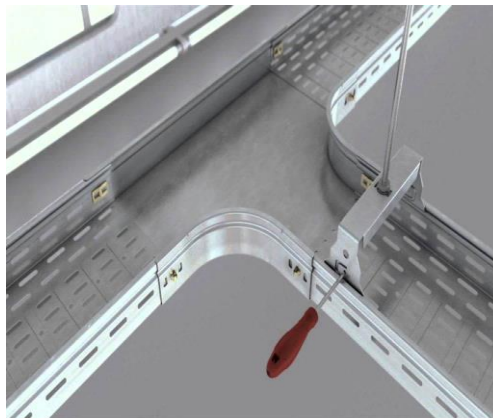


Figure 14: Chemin de câble

3.3.3 **Mode de pose en fonction des différents types de câbles ou de canalisations**

Le tableau 3 présente les différents modes de pose possibles en fonction des différents types de conducteurs ou de câbles.

Tableau 4: Choix des canalisations

Conducteurs et câbles		Mode de pose							
		Sans fixation	Fixation directe	Système de conduits	Systèmes de goulottes (y compris plinthes et profilés au niveau du sol)	Systèmes de conduits profilés	Echelles, chemins de câbles, tablettes, corbeaux	Sur isolateurs	Câble porteur
Conducteurs nus		-	-	-	-	-	-	+	-
Conducteurs isolés ^[b]		-	-	+	+[a]	+	-	+	-
Câbles sous gaine (y compris câbles armés et conducteur à isolant minéral)	Multi-conducteur	+	+	+	+	+	+	0	
	Mono-conducteur	0	+	+	+	+	+	0	+

+ : Admis.

- : Non admis.

0 : Non applicable, ou non utilisé en pratique.

[a] Les conducteurs isolés sont admis, si le système de goulottes possède au moins un degré de protection IP4X ou IPXXD et si le capot ne peut être ôté qu'au moyen d'un outil ou par une action délibérée.

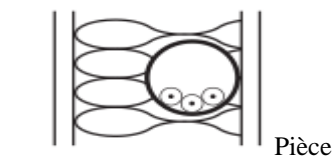
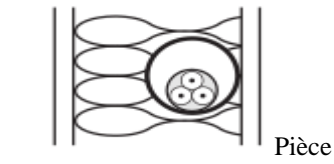
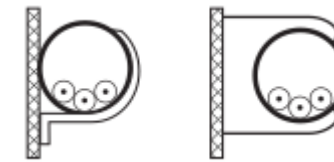
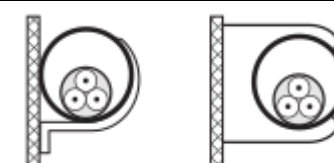
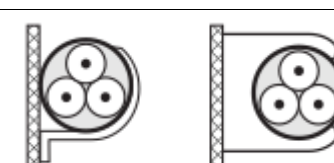
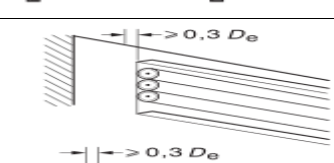
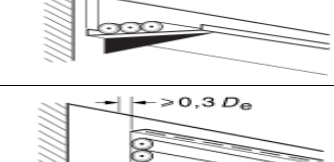
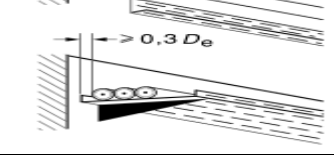
[b] Les conducteurs isolés utilisés comme conducteur de protection ou de liaison équipotentielle peuvent employer indifféremment chacun des modes de pose et ne nécessitent pas d'être posés dans un système de conduits, conduits profilés ou goulottes.

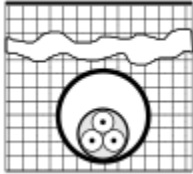
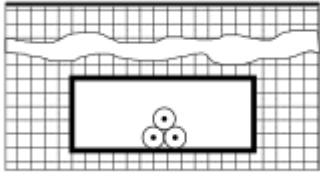
3.3.4 Exemple de modes de pose de canalisation et leur méthode de référence

Le tableau 4 illustre plusieurs méthodes de pose de différents types de canalisations parmi les nombreux modes qui existent.

Les modes de pose sont regroupés par référence (un code lettre de A à G) : pour les modes de pose qui ont les mêmes caractéristiques.

Tableau 5: Exemples de modes de pose

Repère	Mode de pose	Description	Référence du mode de pose à utiliser pour les courants admissibles (méthode de référence)
1	 Pièce	Conducteurs isolés ou câbles mono conducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi thermiquement isolante	A1
2	 Pièce	Câbles multiconducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi thermiquement isolante	A2
4		Conducteurs isolés ou câbles mono conducteurs dans des conduits sur une paroi en bois ou en maçonnerie et espacés d'une distance inférieure à 0,3 fois le diamètre du conduit	B1
5		Câbles multiconducteurs dans des conduits sur une paroi en bois ou en maçonnerie et espacés d'une distance inférieure à 0,3 fois le diamètre du conduit	B2
20		Câbles mono ou multiconducteurs fixés sur une paroi en bois ou espacés de moins de 0,3 fois le diamètre du câble	C
30	 $> 0,3 D_e$	Sur des chemins de câbles non perforés	C
31	 $> 0,3 D_e$	Sur des chemins de câbles perforés	E ou F
36		Conducteurs nus ou isolés sur isolateurs	G

70		Câbles multiconducteurs dans des conduits enterrés profilés ou non profilés	D1
71		Câbles monoconducteurs dans des conduits enterrés profilés ou non profilés	D1

3.4 Les perturbations dans les réseaux électriques industriels

Les perturbations affectant les réseaux industriels peuvent être groupées en quatre catégories : Les variations de l'amplitude de tension, les modifications de la forme d'onde, les dissymétries du système triphasé et les fluctuations de la fréquence autour de 50 Hz.

3.4.1 Variations de fréquence

Les variations de fréquence susceptibles d'exister dépendent de la présence ou l'absence du réseau de distribution public.

3.4.1.1 *Présence du réseau de distribution public*

Les fluctuations de la fréquence dans un réseau de distribution public sont rares et ne sont rencontrées que dans des circonstances particulières telles que les défauts graves sur le réseau de production ou de transport. Surtout lorsqu'il n'y a pas d'équilibre entre la production et la consommation d'énergie électrique, ce type d'interférence se produit.

La variation de fréquence n'excède pas 1 Hz autour de la fréquence nominale (50 ou 60 Hz) dans la plupart des réseaux publics.

3.4.1.2 *Une source autonome de production*

Des variations de charge importantes provoquent des variations de fréquence. L'utilisation d'un système de stockage ou le recours au délestage permet de maintenir la fréquence en cas de surcharge.

3.4.2 Variations de l'amplitude

3.4.2.1 *Creux de tension et coupures brèves*

Un creux de tension est une réduction de la tension d'au moins 10 % sur une durée d'une demi-période à quelques secondes comme indiqué dans la figure 15.

Une coupure brève est un creux de 100 % d'une durée supérieure à quelques secondes et moins d'une minute.

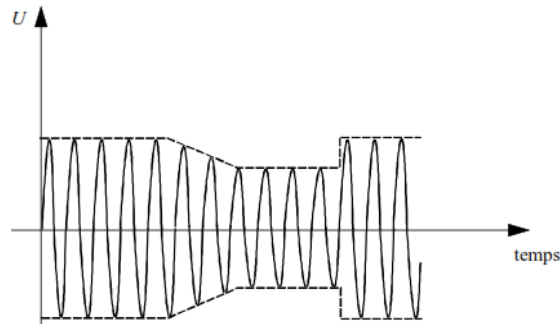


Figure 15: Creux de tension

3.4.2.2 Fluctuations de tension (flicker)

La figure 16 illustre les fluctuations de la tension, qui sont des changements périodiques ou aléatoires de l'enveloppe de la tension. Leurs amplitudes sont inférieures à 10% de la tension nominale. Ce type de perturbations est connu sous le nom de "flicker" pour son effet de papillotement sur l'éclairage[9].

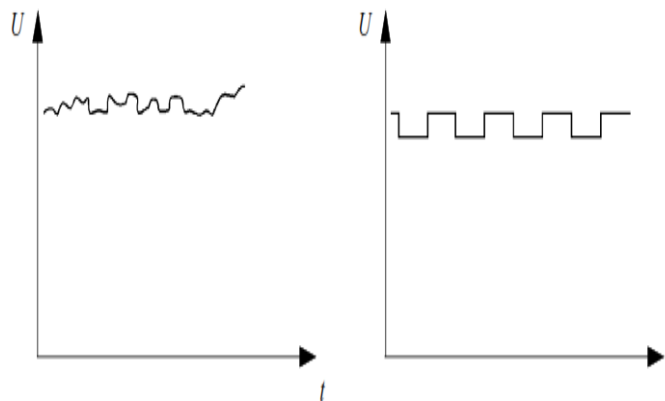


Figure 16: Exemples de fluctuation de la tension

3.4.2.3 Modifications de la forme d'onde : les harmoniques

Les récepteurs non linéaires (tels que les fours à arc électrique, l'éclairage, les convertisseurs, etc.) absorbent des courants non sinusoïdaux qui traversent l'impédance du réseau et cela entraînera une déformation sinusoïdale de la tension d'alimentation [15].

Les harmoniques sont des tensions ou des courants sinusoïdaux dont la fréquence est un multiple entier (k) de la fréquence du réseau de distribution, appelée fréquence fondamentale (50 à 60 Hz). Lorsqu'elles sont combinées à la tension ou au courant fondamental sinusoïdal, les harmoniques provoquent la distorsion de la forme d'onde de la tension ou du courant (voir figure 17) et peuvent perturber le fonctionnement des appareils électriques du réseau [16].

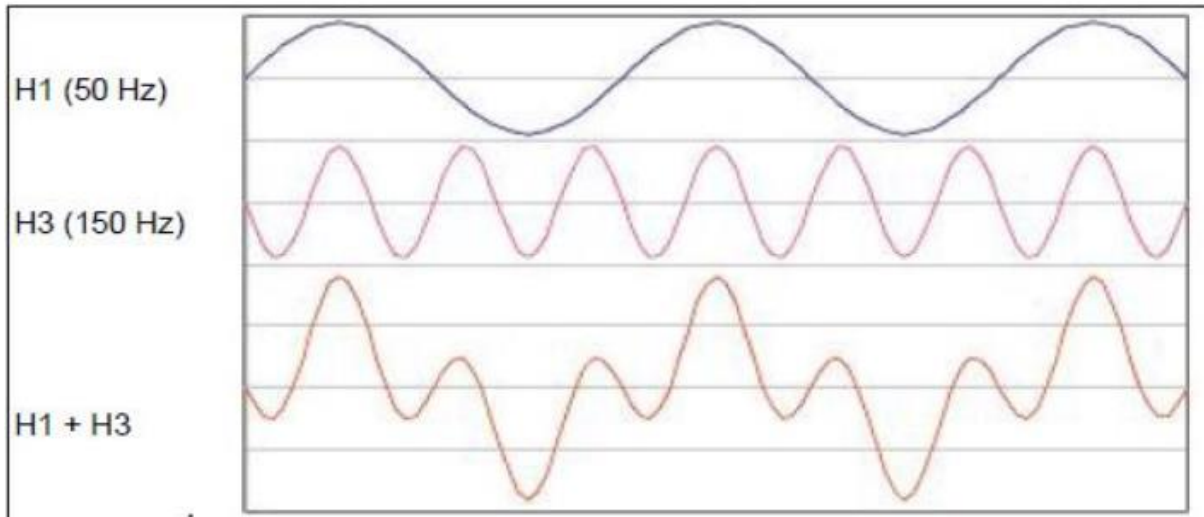


Figure 17: Distorsion de H1 (la fondamentale) par H3 (harmonique du troisième rang)

3.4.2.4 Dissymétries du système triphasé : les déséquilibres

Le réseau triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions du système triphasé ne sont pas égales en amplitude ou ne sont pas décalées les unes par rapport aux autres de 120° [17].

Il existe trois types de circuits triphasés déséquilibrés :

- Charge déséquilibrée : Il peut exister un court-circuit dans la charge, ou une mauvaise répartition des charges monophasées sur le réseau triphasé.
- Source déséquilibrée : Court-circuit à la source ou dans un transformateur.
- Combinaison de source et charge déséquilibrées.

Pratiquement, on retrouve des charges déséquilibrées plus souvent que des sources déséquilibrées. Les sources sont conçues de manière qu'elles soient les plus équilibrées possibles.

3.4.2.5 Niveaux de compatibilité électromagnétique

C'est le niveau maximal spécifié des perturbations qu'il peut être soumis par un appareil. Ceci est la Compatibilité Electromagnétique (CEM) caractérise la capacité des équipements à supporter mutuellement leurs effets électromagnétiques.

La CEM concerne la génération, la transmission et la réception d'énergie électromagnétique. Ces trois aspects constituent le cadre de base de toute conception CEM. Ceci est illustré à la Figure 18. Une source (également appelée émetteur) produit l'émission et une voie de transfert ou de couplage transfère l'énergie d'émission à un récepteur, où elle est traitée, ce qui entraîne un comportement indésirable [18].

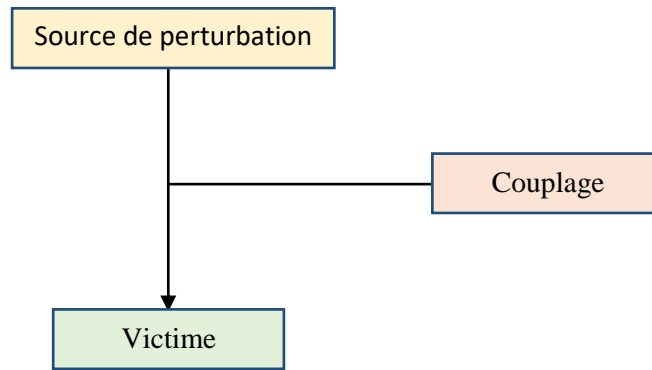


Figure 18: La décomposition de base du problème de couplage CEM

Les sources de la CEM sont :

Phénomènes naturels

- ❖ Foudre
- ❖ Décharges électrostatiques
- ❖ Rayonnements cosmiques

Phénomènes artificiels

- ❖ Émetteurs radio et radars
- ❖ Appareils industriels
- ❖ Traitement de l'information
- ❖ Traitement de l'énergie
- ❖ Dispositifs d'éclairage

Chapitre 4 : Mise à la terre et sécurité dans une installation

4 Chapitre 4 : Mise à la terre et sécurité dans une installation

4.1 Généralités :

Dans tout système triphasé HTA ou BT, Il existe trois tensions simples mesurées entre chaque phase et un point commun appelé « point neutre ». En régime équilibré ces trois tensions sont déphasées de 120° et ont une valeur de $U/\sqrt{3}$.

U étant la tension composée mesurée entre phases.

Pratiquement, le neutre est le point commun de trois enroulements montés en étoile, ce neutre peut être sorti ou non, distribué ou non. En moyenne tension, la distribution du neutre n'est pas utilisée en Algérie ; par contre, elle est très fréquente aux USA. Dans une installation moyenne ou basse tension, le neutre peut être mis à la terre ou non. Dans ce cas ; on parle de **régime du neutre**.

4.2 Définition du régime du neutre :

Un régime de neutre définit la manière dont est connecté le câble de la terre sur la source de tension tels que un transformateur de distribution, un groupe électrogène ou une éolienne, ...etc. et les masses côté utilisateur (machine de production, lave-linge, lave-vaisselle, ...etc.[19].

4.3 La connexion du neutre à la terre :

La connexion du neutre à la terre à travers l'impédance Z_N (comme indiquer dans la figure 19) peut être réalisée de cinq (05) façons différentes :

- ✚ $Z_N = \infty$: neutre isolé, pas de liaison intentionnelle ;
- ✚ $Z_N = R \uparrow$: est une résistance de valeur plus ou moins élevée ;
- ✚ $Z_N = jL\omega \downarrow$: est une réactance, de valeur faible en général ;
- ✚ Z_N : est une réactance de compensation, destinée à compenser la capacité du réseau ;
- ✚ $Z_N = 0$: le neutre est relié directement à la terre.

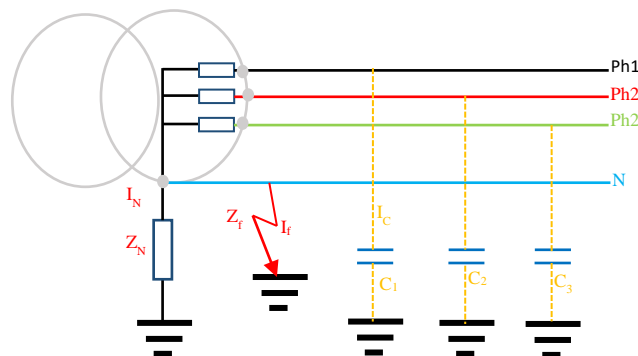


Figure 19: Défaut à la terre dans un réseau

Le courant de défaut est défini comme suit :

$$I_f = I_C + I_N \quad (3)$$

I_f : Courant de défaut ;

I_C : Courant capacitif ;

Z_f : Impédance de défaut ;

I_N : Courant du neutre ;

4.4 Utilité des mises à la terre

Le régime du neutre joue un rôle très important dans un réseau de distribution public. En cas de défaut d'isolement ou de mise à la terre accidentelle d'une phase, les valeurs obtenues par le courant de défaut, la tension de contact et la surtension sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre à la terre.

Le point neutre est directement mis à la terre pour aider à limiter les surtensions ; en revanche, il génère des courants de défaut élevés. Au contraire, le neutre isolé limite le courant de défaut à une valeur très faible, mais est propice à l'apparition de fortes surtensions. Dans toute installation, la continuité de service en présence de défaillance d'isolation est également liée au régime du neutre. Un neutre isolé permet la continuité de service en basse tension et même en haute tension, mais les lois applicables en matière de protection des travailleurs doivent être respectées. Au contraire, un neutre directement mis à la terre ou à faible impédance doit être déclenchée immédiatement lorsqu'un défaut d'isolement se produit pour la première fois. Certains équipements, tels que les moteurs et alternateurs présentant des défauts d'isolation interne, est également lié au régime du neutre[8].

4.5 Les types du régime de neutre :

Le choix du régime du neutre dépend de la nature de l'installation ainsi que le type du réseau. Il est également influencé par le type de charges et la continuité de service requise et la limitation du niveau de perturbation imposé aux équipements sensibles.

Les systèmes de mise à la terre sont régis par la norme CEI 60364-3. Il existe trois types de régime de neutre : TT, TN et IT.

1^{ère} Lettre : définit le point neutre par rapport à la **terre**.

T : neutre directement mis à la terre ;

I : neutre non relié à la terre ou mise à la terre à haute impédance (par exemple 2000 Ω) ;

2^{ème} Lettre : Définit les **masses** de l'installation par rapport à la **terre** :

T : masses reliées directement à la **terre**.

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

4.5.1 Régime TT :

Le neutre de l'installation est directement relié à la terre. Les parties conductrices exposées des charges (les masses) sont interconnectées soit ensemble soit par un groupe de charges. Chaque groupe interconnecté est mis à la terre. Une masse peut être mise à la terre individuellement si elle est éloignée des autres[20]. Voir figure 20.

Caractéristiques particulières du régime TT :

- L'installation de DDR est obligatoire.
- Toutes les masses protégées par le même dispositif de protection doivent être connectées à la même terre.
- La terre de neutre et la terre de masse peuvent ou non être interconnectées ou combinées.

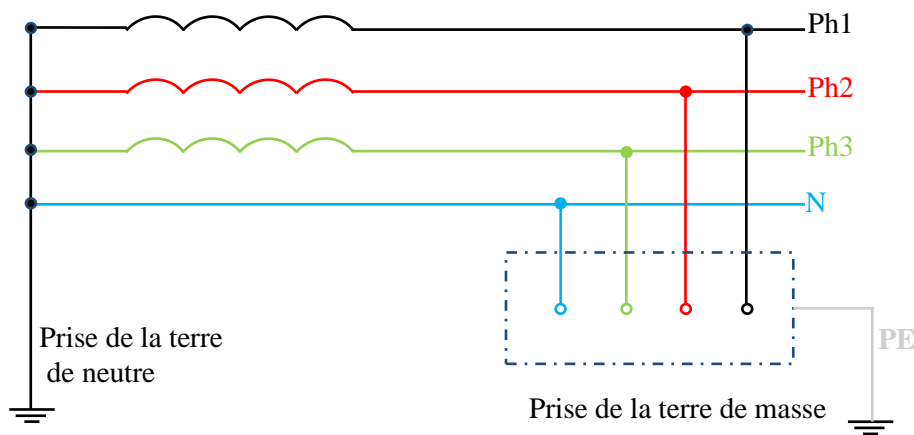


Figure 20: Régime TT

4.5.2 Régime TN :

Dans ce régime le neutre est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre par un conducteur de protection[21]. Il existe deux types de systèmes, selon que le conducteur du neutre et le conducteur de protection (PE) sont confondus ou non :

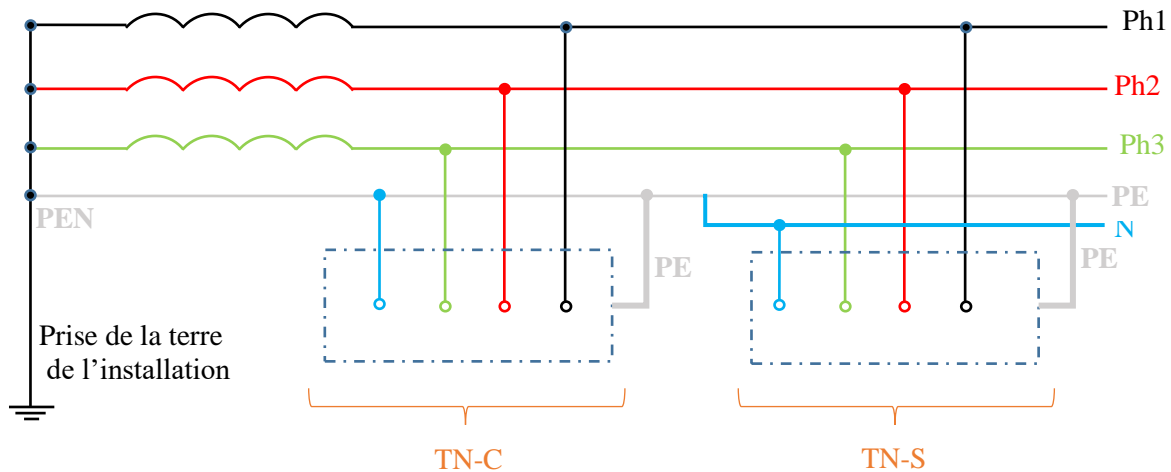


Figure 21: Régime TN

4.5.2.1 Schéma TN-C (Mise au neutre confondus)

Le neutre et le conducteur de protection sont **CONFONDUS** en un seul conducteur appelé PEN. Ce système est identifié par une troisième lettre C et est appelé TN-C (voir figure 21). Les connexions de mise à la terre doivent être placées uniformément sur la longueur du conducteur PEN pour éviter les augmentations de potentiel dans les masses en cas de défaut. Ce type de schéma est interdit pour des sections de conducteurs en cuivre inférieurs à 10 mm^2 et les sections de conducteurs en aluminium inférieurs à 16 mm^2 .

4.5.2.2 Schéma TN-S (Mise au neutre séparés)

Le neutre et le conducteur de protection sont **SEPARÉS**. Le système est identifié par une troisième lettre S et est appelé TN-S (voir Figure 21). Les connexions de mise à la terre doivent être placées uniformément sur la longueur du conducteur de protection PE pour éviter les augmentations de potentiel dans les masses en cas de défaut. Ce système ne doit pas être utilisé en amont d'un système TN-C.

Caractéristiques particulières du régime TN :

- La commutation de défaut est obtenue par des dispositifs assurant une protection contre les défauts entre phases (disjoncteurs, fusibles, etc.).

4.5.3 Régime neutre isolé : IT

Le neutre est isolé ou relié à la terre par une impédance élevée (une impédance de 1700Ω est souvent utilisée), voir figure 22. Les parties conductrices exposées des charges (les masses) sont interconnectées et mises à la terre. Un groupe de charges peut être mis à la terre individuellement s'il est situé loin des autres charges[22].

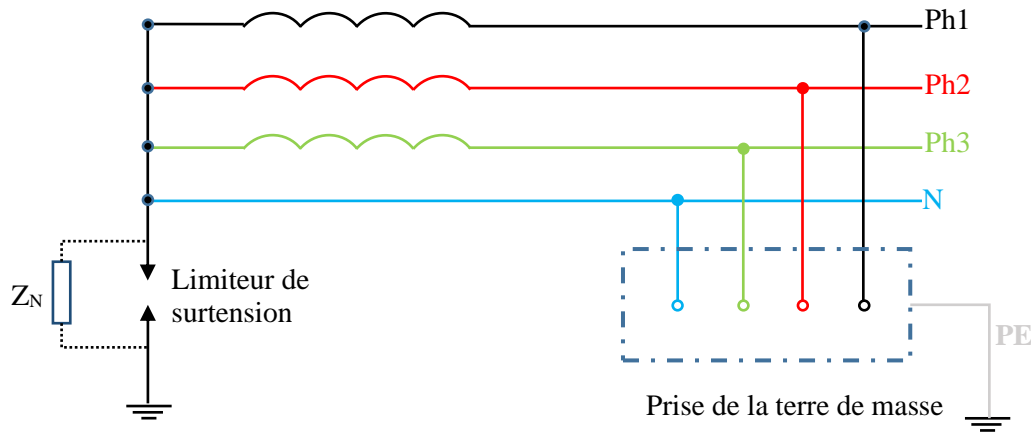


Figure 22: Régime IT

Caractéristiques particulières du régime IT :

- La commutation lors de l'apparition d'un double défaut est généralement générée par des dispositifs de protection contre les défauts phase-phase (disjoncteurs, fusibles, etc.).
- Si le courant de court-circuit n'est pas suffisamment important pour activer la protection contre les défauts phase-phase, notamment si les charges sont éloignées, la protection doit être assurée par des disjoncteurs différentiels (DDR).
- Un groupe de charges mises à la terre individuellement doit être protégé par un disjoncteur différentiel.

4.6 Comparaison de différents systèmes de mise à la terre en basse tension

Les trois systèmes de mise à la terre sont différents dans leur fonctionnement et leur protection. Chacun d'eux a ses avantages et ses inconvénients.

4.6.1 Régime IT :

Technique opératoire :

- Surveillance permanente de l'isolement.
- Première indication de défaut d'isolement.
- Localisation et élimination des défauts est obligatoire.
- Commutation si deux défauts d'isolement se produisent en même temps (double défaut).

Technique de protection des personnes :

- Interconnexion et mise à la terre des masses.
- Premier contrôle des défauts par une surveillance d'isolement permanente.

- Commutation à l'apparition du deuxième défaut par des dispositifs de protection contre les surintensités (disjoncteurs ou fusibles).

Les avantages :

- Système assurant la meilleure continuité de service pendant l'utilisation.
- Lorsqu'un défaut d'isolement se produit, le courant de court-circuit est très faible.

Les inconvénients :

- Nécessite du personnel de maintenance pour surveiller le système pendant son utilisation.
- Nécessite un bon niveau d'isolation du réseau.
- Les contrôles de déclenchement pour deux défauts simultanés doivent être effectués si possible lors de la conception du réseau à l'aide de calculs, et doivent être effectués lors de la mise en service à l'aide de mesures.
- Des limiteurs de surtension doivent être installés.
- Nécessite une liaison équipotentielle de toutes les masses de l'installation ; si cela n'est pas possible, des DDR doivent être installés.

4.6.2 Régime TT :

Technique opératoire :

- Commutation à l'apparition du premier défaut d'isolement.

Technique de protection des personnes :

- Mise à la terre des masses combinée à l'utilisation obligatoire de DDR (au moins un en tête de l'installation).
- Toutes les masses protégées par le même disjoncteur différentiel doivent être connectées à la même terre.
- Les parties conductrices exposées accessibles simultanément doivent être connectées à la même terre.

Les avantages :

- Le système le plus simple à concevoir, mettre en œuvre, surveiller et utiliser.
- Ne nécessite pas de surveillance permanente pendant l'utilisation (seul un test d'inspection périodique des DDR peut être nécessaire).
- De plus, la présence de DDR évite le risque d'incendie lorsque leur sensibilité est inférieure ou égale à 500 mA.
- Localisation facile des défauts.
- Lors de l'apparition d'un défaut d'isolement, le courant de court-circuit est faible.

Les inconvénients :

- Commutation à l'apparition du premier défaut d'isolement.
- Utilisation d'un DDR sur chaque départ pour obtenir une sélectivité totale.

4.6.3 Régime TN :

Technique opératoire :

- Commutation à l'apparition du premier défaut d'isolement.

Technique de protection des personnes :

- Interconnexion et mise à la terre impératives des masses.
- Mise en marche sur apparition du premier défaut via un dispositif de protection contre les surintensités (disjoncteur ou fusible).

Les avantages :

- Le système TNC peut être moins coûteux lors de l'installation (élimination d'un pôle d'appareillage et d'un conducteur).
- Utilisation de dispositifs de protection contre les surintensités pour assurer la protection contre les contacts indirects.

Les inconvénients :

- Commutation à l'apparition du premier défaut d'isolement.
- Le système TNC implique l'utilisation de goulottes fixes et rigides.
- Nécessite que les connexions de mise à la terre soient placées uniformément dans l'installation afin que le conducteur de protection reste au même potentiel que la terre.
- Passage du conducteur de protection dans les mêmes goulottes que les conducteurs sous tension des circuits correspondants.
- Nécessite souvent une liaison équipotentielle supplémentaire.
- Des harmoniques d'ordre 3 et multiple d'ordre 3 circulent dans le conducteur de protection (système TNC).
- Le risque d'incendie est plus élevé et, de plus, il ne peut pas être utilisé dans des endroits présentant un risque d'incendie (système TNC).
- En cas de défaut d'isolement, le courant de court-circuit est élevé et peut endommager l'équipement ou provoquer des perturbations électromagnétiques.

4.7 Caractéristiques d'installation spécifiques dans les systèmes BT non mis à la terre :

Comme nous l'avons vu dans les sections précédentes, le système BT mis à la terre nécessite une surveillance permanente de l'isolement, la localisation du premier défaut et un limiteur de surtension. Nous allons maintenant voir comment cela se fait.

4.7.1 Installation d'un contrôleur d'isolement permanent

Dans un système non mis à la terre, un appareil doit surveiller en permanence le niveau d'isolement afin qu'un défaut soit décelé et localisé à temps. Ceci est nécessaire pour éviter toute détérioration partielle des équipements au cours du temps et éviter le déclenchement si un second défaut d'isolement survient. Le premier défaut doit être localisé et éliminé par le personnel d'exploitation [22].

Le contrôleur d'isolement permanent assure la surveillance de l'isolement.

Il applique une tension continue entre le neutre et la terre, ou sur une phase si le neutre n'est pas accessible, ce qui crée un courant de fuite dans les résistances d'isolement quelles que soient les capacités du câble (en courant continu, les condensateurs ont une impédance infinie). En cas de défaut d'isolement, un courant continu traverse le contrôleur et déclenche une alarme (voir figure 23).

4.7.2 Installation d'un limiteur de surtension

Le travail d'un limiteur de surtension est de mettre à la terre les surtensions dangereuses susceptibles de se produire, telles qu'un coup de foudre ou un contournement entre les enroulements HTA et BT d'un transformateur.

Il est installé entre le neutre et la terre d'un transformateur ou entre une phase et la terre si le neutre n'est pas accessible, voir figure 23.

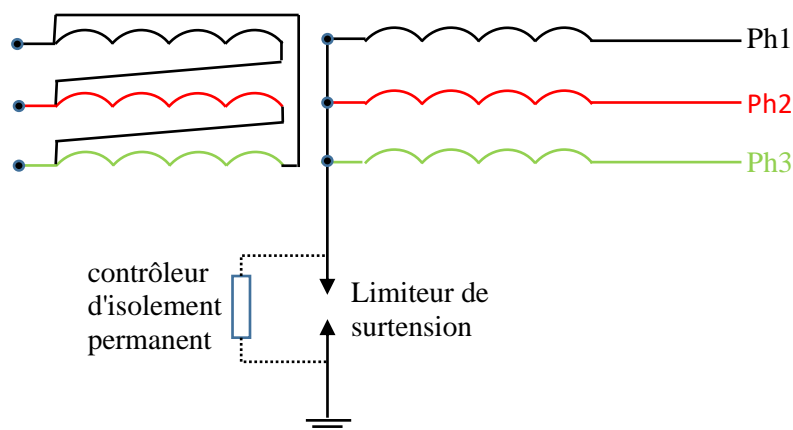


Figure 23: Installation d'un limiteur de surtension et d'un contrôleur d'isolement permanent dans un système IT

4.8 Choix d'un régime de neutre :

Sur le plan de la protection des personnes, les trois régimes de neutre sont équivalents, si on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation.

Il est néanmoins erroné de vouloir exploiter un réseau à neutre isolé (IT) dans une installation où l'isolement est faible, par exemple dans des installations anciennes, étendues, avec des lignes extérieures. Le choix d'un régime de neutre peut s'effectuer selon le tableau suivant :

Tableau 6: Choix du régime du neutre en fonction des récepteurs

Nature des Récepteurs	Régime de neutre			Observations
	TT	IT	TN	
Récepteur sensible au grand courant de défaut (moteurs)	P	C	D	le courant de défaut en TN peut atteindre plusieurs fois la valeur du courant nominal
Récepteur à faible isolement: -Fours électrique -Thermo plongeur - Soudeuses	P	P	C	Pour la sécurité et la continuité de service, un transfo d'isolement permet de séparer ces récepteurs du reste du réseau
Nombreux récepteurs monophasé entre phase et neutre	C	D	D	Risque de diminution de l'isolement avec le temps
Récepteur à risque - Palans - Convoyeurs - Récepteurs avec alimentation mobile	P	D	C	Alimentation par un transformateur de séparation avec mise au neutre locale
Nombreux auxiliaires Machines-outils Pour le circuit de Commande	D	P	C	Emploi de transformateur de séparation avec mise au neutre locale

P: possible

D: déconseillé

C: conseillé

Chapitre 5 :

Calculs des installations

5 Chapitre 5 : Calcul des installations

5.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons voir les étapes du dimensionnement et choix des éléments de l'installation électrique basse tension, à savoir :

- ✓ Le calcul du bilan de puissance ;
- ✓ Le calcul du courant d'emploi I_B
- ✓ Le calcul du courant admissible I_Z ;
- ✓ Déterminations des sections de conducteurs et des conducteurs de liaison équipotentielle ;
- ✓ Vérification de la Chute de tension ;
- ✓ Choix du dispositif de protection.

5.2 Détermination des sections de conducteurs basse tension

Le bilan de puissance c'est la première étape essentielle de l'étude de conception d'un réseau électrique industriel. Elle doit cerner et localiser géographiquement les valeurs des puissances actives et réactives.

Selon l'étendu du site, les puissances installées et leurs répartitions, l'installation sera divisée en plusieurs zones géographiques. Le bilan des puissances actives et réactives sera alors fait pour chaque zone en appliquant, aux puissances installées, les facteurs d'utilisation propre à chaque récepteur.

5.2.1 Principe de la méthode

Le choix de la section des canalisations et du dispositif de protection doit satisfaire plusieurs conditions nécessaires à la sécurité de l'installation.

La canalisation doit :

- ⇒ Véhiculer le courant maximal d'emploi et ses pointes transitoires normales ;
- ⇒ Ne pas générer des chutes de tension supérieures aux valeurs admissibles.

Le dispositif de protection doit :

- ⇒ Protéger la canalisation contre toutes les surintensités jusqu'au courant de court-circuit.
- ⇒ Assurer la protection des personnes contre les contacts indirects.

Le logigramme de la figure 24 résume le principe de la méthode qui peut être décrite par les étapes suivantes :

1ère étape :

- Connaissant la puissance d'utilisation, on détermine le courant maximal d'emploi I_B et on en déduit le courant assigné I_n du dispositif de protection.
- On calcule le courant de court-circuit maximal I_{cc} à l'origine du circuit et on en déduit le pouvoir de coupure PdC du dispositif de protection.

2ème étape :

- Selon les conditions d'installation (mode de pose, température ambiante, ...), on détermine le facteur global de correction f .
- En fonction de I_n et f , on choisit la section adéquate du conducteur.

3ème étape :

- Vérification de la chute de tension maximale
- Vérification de la tenue des conducteurs à la contrainte thermique en cas de court-circuit
- Pour les schémas TN et IT, vérification de la longueur maximale relative à la protection des personnes contre les contacts indirects.

La section du conducteur satisfaisant toutes ces conditions est alors retenue.

5.3 Bilan de puissance :

Le bilan de puissance est un outil qui permet de dimensionner l'installation à partir de la connaissance de la puissance des différents récepteurs. Il s'agit d'une première étape essentielle dans la recherche sur la conception des réseaux électriques industriels. Il doit géographiquement identifier et localiser les valeurs de puissance active et réactive de tous les récepteurs.

5.3.1 Détermination de la puissance :

La puissance installée n'est pas la somme arithmétique de la puissance de tous les récepteurs. Sa détermination nécessite la connaissance de la puissance et la localisation des différents récepteurs pour déduire la puissance d'utilisation de chacun, et par la suite la détermination de la puissance requise du transformateur.

5.3.2 La puissance installée :

La puissance active installée, dans une installation électrique industrielle représente la somme des puissances actives nominales de tous les récepteurs. Cette puissance servira ensuite, au

calcul des puissances réellement consommées et ce, en utilisant des facteurs d'utilisation et de simultanéité correspondant à chaque niveau de l'installation.

$$P_n = \Sigma P_{nom}(\text{Récepteur}) \quad (4)$$

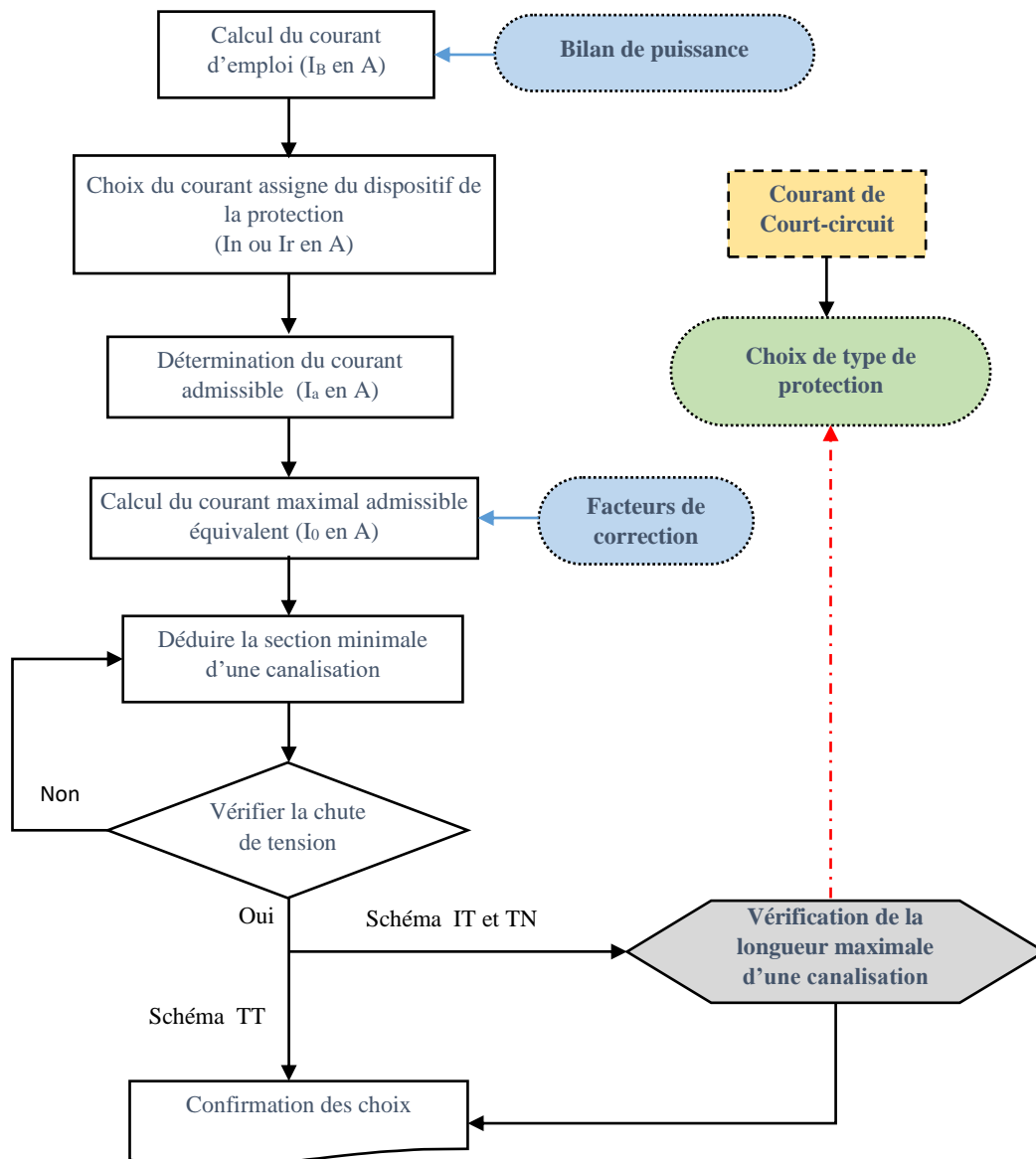


Figure 24: Logigramme du choix des canalisations et du dispositif de protection

5.3.3 La puissance absorbée

La puissance absorbée P_a d'un récepteur quelconque est obtenue à partir de sa puissance nominale. Elle est donnée par la puissance nominale P_{nom} , le rendement unitaire η et le facteur de puissance $\cos\varphi$.

$$P_a = \frac{P_{nom}(\text{Récepteur})}{\eta \cos(\varphi)} \quad (5)$$

La valeur de la puissance apparente est supérieure à la valeur de la puissance absorbée, cette différence représente une marge d'erreur acceptable lors de la phase de conception. Pour des raisons de (facilité le calcul), on suppose généralement que la puissance absorbée est la somme arithmétique de la puissance apparente de chaque récepteur (si toutes les charges ont le même facteur de puissance).

5.3.4 La puissance utilisée

La puissance utilisée est définie comme la partie de la puissance nominale réellement utilisable. Pratiquement tous les récepteurs ne sont pas toujours utilisés à leur puissance maximale.

Son estimation permet d'évaluer la puissance réellement utilisée, suivant l'équation 6. Néanmoins sa détermination nécessite la connaissance du facteur d'utilisation K_u .

$$P_u(\text{KV A}) = P_a \times K_u \quad (6)$$

K_u : facteur d'utilisation ;

Il traduit le fait : qu'un ensemble de récepteurs ne soit pas utilisé en même temps.

5.3.4.1 Facteur d'utilisation k_u

Il traduit le fait que le régime de fonctionnement d'un récepteur peut être inférieur à la puissance nominale. Il s'applique individuellement à chaque récepteur (circuits terminaux).

Tableau 7: Facteur d'utilisation

Utilisation	K_u
Force motrice	0,75 à 1
Eclairage	1
Chauffage	1
Ventilation	1
PC	1

5.3.5 Puissance foisonnée

La puissance foisonnée P_f d'une distribution est égale à la somme des puissances absorbées et valorisées par les facteurs suivants :

$$P_f = K_s \times K_d \times P_u \quad (7)$$

K_s : facteur de simultanéité ;

K_d : facteur d'extension ;

Il traduit le fait :

- Il s'applique à chaque regroupement de récepteurs (distributions ou tableaux divisionnaires)

- Prévoir des extensions dans l'avenir.

5.3.5.1 Facteur de simultanéité K_s

La détermination des facteurs de simultanéité nécessite la connaissance détaillée de l'installation considérée et l'expérience des conditions d'exploitation, notamment pour les moteurs et les prises de courant.

Tableau 8: Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs

<i>Nombres de récepteurs</i>	<i>Facteurs de simultanéité k_s</i>
1 à 3	0.9
4 à 5	0.8
5 à 9	0.7
10 et plus	0.6

Pour les circuits de prises de courant le facteur de simultanéité est calculé par l'équation (8)

$$K_s = 0.1 + \frac{0.9}{n} \quad (8)$$

n : nombre de prises de courant alimentées par le même circuit.

5.3.5.2 Facteur d'extension K_d

Le rôle du facteur d'extension, également appelé facteur de réserve, est de prévoir une augmentation de la puissance absorbée. Le coefficient varie de 1 à 1,3. La valeur du facteur K_d doit être estimée suivant les conditions prévisibles d'évolution de l'installation ; il est au moins égal à 1. A défaut de précision, la valeur 1,2 est souvent utilisée.

5.4 Détermination du courant maximal d'emploi

Le courant maximal d'emploi (I_B) est défini en fonction de l'installation alimentée par la canalisation. Dans le cas de l'alimentation individuelle d'un appareil, le courant I_B sera égal au courant assigné de l'appareil alimenté. En revanche, si la canalisation alimente plusieurs appareils, le courant I_B sera égal à la somme des courants absorbés, en tenant compte des facteurs d'utilisation, de simultanéité et d'extension de l'installation.

Dans le cas de démarrages de moteurs ou de régimes cycliques de charges (poste de soudure par point), lorsque leurs effets thermiques se cumulent, les appels de courant doivent être pris en compte.

En courant continu :

$$I_B = \frac{P}{U} \left(\frac{\text{puissance absorbée (en W)}}{\text{tension de service (en V)}} \right) \quad (9)$$

En courant alternatif :

En monophasé :
$$I_B = \frac{P_f}{U} \tag{10}$$

En triphasé :
$$I_B = \frac{P_f}{\sqrt{3}U} \tag{11}$$

P_f : puissance foisonnée (VA)

U : - Tension entre les deux conducteurs pour une alimentation monophasée.

-Tension entre phases pour une alimentation triphasée.

5.5 Choix du dispositif de protection

Le rôle d'un dispositif de protection électrique (disjoncteur ou fusible) est d'éviter ou de limiter les conséquences destructrices et dangereuses d'une surintensité ou d'un défaut d'isolement, et pour assurer cette protection, l'installation doit être protégée contre :

- Les courants de surcharge : cela correspond au courant maximum circulant dans une installation sans provoquer l'échauffement des conducteurs (sans défaut.) ;
- Les courants de court-circuit, dus, par exemple, à la rupture d'un isolant entre phases ou entre phase et neutre.

La protection dans ces deux cas est assurée par un disjoncteur ou un appareillage à fusible installé en amont dans le tableau de distribution.

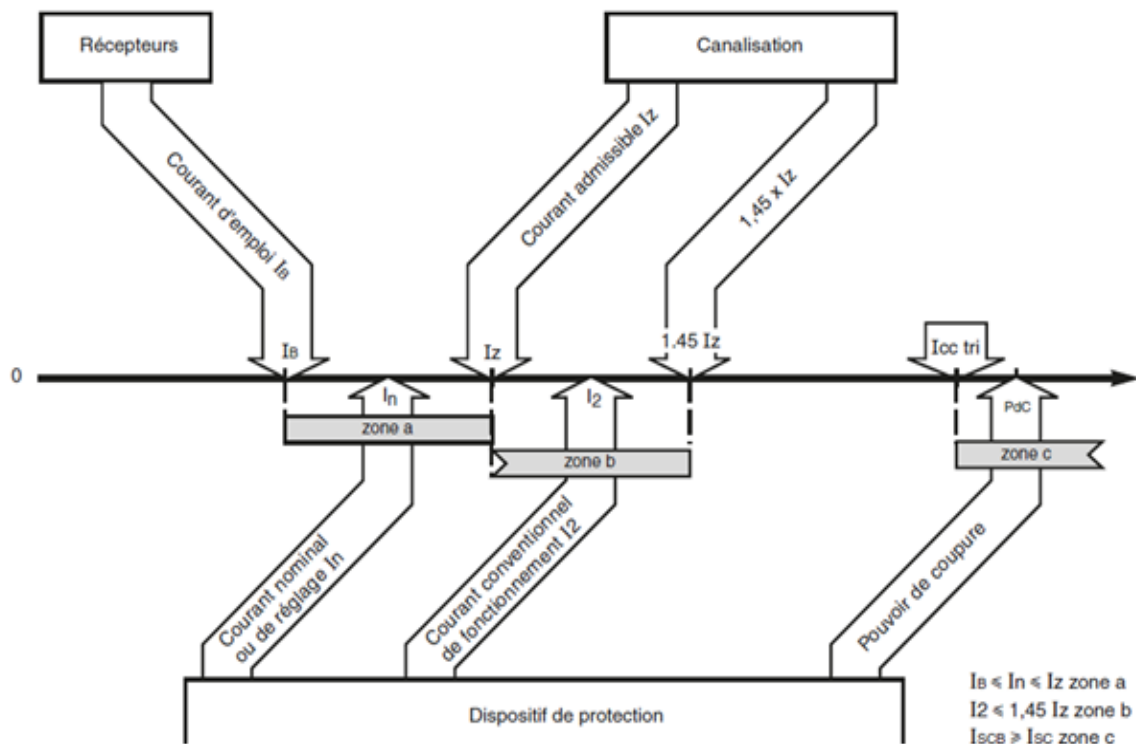


Figure 25: Les courants d'une canalisation

- **Règle générale**

En conformité avec la NF C 15-100, un dispositif de protection (disjoncteur ou fusible) assure correctement sa fonction si les conditions indiquées ci-après sont satisfaites[9].

- **Courant nominal ou de réglage**

Il doit être compris entre le courant d'emploi et le courant admissible I_a de la canalisation :

$I_B < I_n < I_a$, ce qui correspond à la zone *a* de la figure 25.

- **Courant conventionnel de déclenchement**

Il doit satisfaire la relation suivante :

$I_2 < 1.45.I_a$ ce qui correspond à la zone *b* de la figure 25.

Tableau 9: Courant de déclenchement d'un dispositif de protection

Protection	Courant de déclenchement
Disjoncteur domestique	$I_2 = 1.45 \times I_n$
Disjoncteur industriel	$I_2 = 1.30 \times I_r$
Fusible	$I_2 = K_f \times I_n$ ou $K_f = 1.6$ à 1.9 selon les fusibles

- **Pouvoir de coupure**

Il doit être supérieur à l'intensité de court-circuit maximale triphasée ($I_{cc\ tri}$) en son point d'installation : $PdC \geq I_{cc\ tri}$, ce qui correspond à la zone *c* de la figure 25.

5.6 Courants maximal admissibles dans les canalisations « I_0 »

Il s'agit du courant maximal que la canalisation peut transporter en continu sans affecter sa durée de vie.

Le courant maximal admissible est calculé par la canalisation en fonction de ses conditions d'installation :

$$I_0 = \frac{I_a}{f} \quad (12)$$

Avec « *k* » est le facteur de correction globale.

$$f = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_n \quad (13)$$

5.6.1 Influence du mode de pose « f_1 »

Ce facteur est calculé suivant le mode de pose utilisé pour la canalisation des conducteurs. Les principaux modes de pose utilisés dans les réseaux industriels sont illustrés dans le tableau 10, avec le numéro et la lettre de sélection associés au mode de pose et les facteurs de correction à appliquer.

Chapitre 5 : Calcul des installations

Tableau 10: Lettre de sélection et facteur de correction de mode de pose "f1"

Type d'éléments conducteurs	Mode de pose	Lettre	f ₁
Conducteurs et câbles multiconducteurs	Dans des caniveaux ouverts ou ventilés	B	1
	Dans des vides de construction ou caniveaux fermés ou faux-plafonds.		0.95
	Dans des goulottes		0.9
	Dans des conduits dans des vides		0.865
	Fixés sur un mur	C	1
	Fixés à un plafond		0.95
câbles multiconducteurs	Sur chemin de câbles ou tablettes non perforées	E.F	1
	Sur des corbeaux		1
	Sur des échelles à câbles		1
	Dans des conduits ou dans des conduits profilés enterrés		0.8
Câbles mono ou multiconducteurs	Enterré	D	1

5.6.2 Influence de la température « f₂ »

Lors de l'encastrement de conduits électriques dans un mur avec des éléments chauffants, il est généralement nécessaire d'appliquer le facteur de réduction afin de réduire le courant admissible.

Ce facteur est calculé suivant la température et la matière utilisée pour la canalisation des conducteurs comme indique dans le tableau 12. Lorsque la température de l'air diffère de 30 °C, le coefficient de correction à appliquer est donné par la formule :

$$f_2 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_0}{\theta_p - \theta_1}} \quad (14)$$

Tableau 11: Facteurs de correction f2 (influence de la température)

Température du sol (°C) θ ₀	Canalisations enterrées θ ₁ = 20 °C		Canalisations non entrées θ ₁ = 30 °C		
	PVC θ _p = 70 °C	PR et EPR θ _p = 90 °C		PVC θ _p = 70 °C	PR et EPR θ _p = 90 °C
10	1,10	1,07	1,29	1,22	1,15
15	1,05	1,04	1,22	1,17	1,12
20	-	-	1,15	1,12	1,08
25	0,95	0,96	1,07	1,06	1,04
30	0,89	0,93			
35	0,84	0,89	0,93	0,94	0,96
40	0,77	0,85	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,80	0,71	0,79	0,87
50	0,63	0,76	0,58	0,71	0,82
55	0,55	0,71	-	0,61	0,76
60	0,45	0,65	-	0,50	0,71
65	-	0,60	-	-	0,65
70	-	0,53	-	-	0,58
75	-	0,46	-	-	0,50
80	-	0,38	-	-	0,41

θ_p : température maximale admise par l'isolant en régime permanent, °C

θ_0 : température de l'air, °C

Exemple: Une canalisation non enterrée en PR, la température du sol 30 °C.

$$f_2 = \sqrt{\frac{90 - 20}{90 - 30}} = 1.08$$

5.6.3 Influence de la nature du sol « f_3 »

La résistance thermique du sol dépend de la nature et de l'humidité du sol. Le tableau 13 présente les facteurs de correction appliqués en fonction de la résistivité du sol :

Tableau 12: Facteur de correction f_3 (influence de la nature de sol)

Résistivité thermique du terrain Km/W	Facteur de correction	Observation		
		Humidité	Nature du terrain	
0,40	1,25	Pose immergée	Marécages Sable	
0,50	1,21	Terrain très humide		
0,70	1,13	Terrain humide		
0,85	1,05	Terrain dit normal		
1,00	1,00	Terrain sec		
1,20	0,94			
1,50	0,86	Terrain sec		
2,00	0,76			
2,50	0,70			
3,00	0,65			

5.6.4 Influence mutuelle des circuits « f_4 »

Les câbles disposés horizontalement (jointifs) « f_{41} » (figure 26)

Lorsque la distance horizontale entre les câbles adjacents est supérieure à deux fois son diamètre extérieur, aucun facteur de réduction n'est nécessaire. Si non, le facteur de réduction est calculé à partir du tableau 15.



Figure 26: Exemple de quatre câbles jointifs

Tableau 13: Facteurs de correction f_{41} (influence de la disposition horizontale)

Lettre de sélection		Nombre de câble multiconducteurs ou groupes de câble non-conducteurs											
		Jointifs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B,C,F		1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	Murs	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire		
	Plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
E, F	Tablettes	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
	Echelles	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

5.6.5 Les câbles disposés en plusieurs couches « f₄₂ » :

Les facteurs de correction doivent être appliqués, lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, voir figure 27.



Figure 27: Exemple de trois couches de câbles

Tableau 14: Facteurs de correction f₄₂ (influence de la disposition de couche)

Nombres de couches	2	3	4 ou 5	6 à 8	9 et plus
Facteur de correction	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

5.6.6 Conducteur Neutre chargé « f_n »

Le tableau 16 donne une méthode directe comment déduire le coefficient k_n du neutre chargé.

Tableau 15: Facteur de correction f_n (conducteur chargé)

I _{h3}	f _n	Conducteur neutre
I _{h3} < 15%	1	S _n =S _{ph} (Neutre non chargé (16%))
15% < I _h < 33% Ou N'est pas défini	0,85	$S_n = S_{ph} = S_{pho} \times \frac{1}{0,84}$
33% < I _{h3}	$\frac{0,84}{1,45}$	I _n =1,73 fois le courant calculé Câble multipolaires : $S_n = S_{ph} = S_{pho} \times \frac{1,45}{0,84}$ Câble unipolaires : $S_n = S_{pho} \times \frac{1,45}{0,84}$, $S_{ph} = S_{pho} \times \frac{1}{0,84}$

5.7 Section d'une canalisation BT

Les sections des conducteurs de circuits doivent être déterminées en fonction de courant admissible, déduire à partir du tableau 17 pour les câbles non enterrés, ou à partir du tableau 18 pour les câbles enterrés.

- PVC : Polychlorure de vinyle
- PR : Polyéthylène réticulé ou éthylène-propylène
- 2 : Circuits monophasés ou biphasés
- 3 : Circuits triphasés

Chapitre 5 : Calcul des installations

Tableau 16: Détermination de la section d'un câble non enterré

I ₀		Caoutchouc ou PVC				Butyle ou PR ou éthylène PR				
		B	PVC3	PVC2		PR3		PR2		
Lettre de sélection	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
						PVC3		PVC2	PR3	
Section cuivre (mm ²)	1.5	15.5	17.5	18.5	19.5	22	23	24	26	
	2.5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	107	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	252	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083	
630					855	1005	1008		1254	
Section aluminium (mm ²)	2.5	16.5	18.5	19.5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
	300		351	381	460	440	497	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
630					711	808	899		996	

Tableau 17: Détermination de la section d'un câble enterré.

I ₀		Caoutchouc ou PVC		Butyle ou PR ou éthylène PR	
		3 Conducteurs	2 conducteurs	3 conducteurs	2 conducteurs
Section cuivre (mm ²)	1.5	26	32	31	37
	2.5	34	42	41	48
	4	44	54	53	63
	6	56	67	66	80
	10	74	90	87	104
	16	96	116	113	136
	25	123	148	144	173

	35	147	178	174	208
	50	174	211	206	247
	70	216	261	254	304
	95	256	308	301	360
	120	290	351	343	410
	150	328	397	387	463
	185	367	445	434	518
	240	424	514	501	598
	300	480	581	565	677
Section aluminium (mm²)	10	57	68	67	80
	16	74	88	87	104
	25	94	114	111	133
	35	114	137	134	160
	20	134	161	160	188
	70	167	200	197	233
	95	197	237	234	275
	120	224	270	266	314
	150	254	304	300	359
	185	285	343	337	398
	240	328	396	388	458
	300	371	447	440	520

5.8 Section des conducteurs de neutre, de protection (PE), d'équipotentialité

5.8.1 Section du conducteur neutre

Un paradoxe : le conducteur neutre est un conducteur actif dans lequel il ne devrait circuler aucun courant, et pourtant... Il existe un regain d'intérêt pour le conducteur neutre, lié à la prolifération des charges électroniques, à la circulation de courants harmoniques et au risque de surcharge [23].

La norme CEI 60364 § 524.2 et § 524.3 définit les critères de choix de la section du conducteur neutre [24]. Cette règle générale ne considère qu'une faible circulation de courant harmonique de rang 3 dans le réseau.

En régime sinusoïdal, le courant dans le conducteur neutre dépend du déséquilibre entre les charges monophasées raccordées entre phases et neutre. La section du conducteur neutre, déterminée en fonction du courant véhiculé, peut-être :[23]

✚ Section du conducteur neutre inférieure à la section des conducteurs de phases... si les conditions suivantes sont remplies simultanément :

- La section des conducteurs de phases doit être supérieure à 16 mm² Cuivre ou 25 mm² Aluminium ;
- La section du conducteur neutre doit être au moins égale à 16 mm² Cuivre ou 25 mm² Aluminium ;
- Les charges alimentées en service normal sont supposées équilibrées, avec un taux d'harmonique de rang 3 inférieur à 15 % ;

- Le conducteur neutre doit être protégé contre les surintensités.
- ✚ Section du conducteur neutre égale à la section des conducteurs de phases. C'est le cas général, en particulier dans les circuits monophasés à 2 conducteurs, ou lorsque la section des conducteurs de phases est inférieure à 16 mm^2 Cuivre ou 25 mm^2 Aluminium. C'est également vrai dans le cas d'alimentation des charges non linéaires et que le taux d'harmonique 3 se situe dans la fourchette de 15 à 33% ;
- ✚ Section du conducteur neutre supérieure ou égale à la section des conducteurs de phases, dans le cas d'alimentation de charges non linéaires et que le taux d'harmonique 3 dépasse 33 %. L'intensité dans le conducteur neutre est alors prépondérante pour la détermination de la section des conducteurs.

5.8.2 Section des conducteurs de protection (PE)

Dans une installation basse tension, les conducteurs de protection assurent l'interconnexion des masses d'utilisation et l'écoulement à la terre des courants de défaut d'isolement. Les conducteurs d'équipotentialité permettent de mettre au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs [9].

5.8.2.1 Section des conducteurs de protection entre transformateur HTA/BT et tableau principal BT (voir figure 28)

Le tableau 18 donne les valeurs des sections des conducteurs de protection (en mm^2) en fonction de la puissance nominale du transformateur HTA/BT, du temps de fonctionnement t (en seconde) de la protection HTA. Lorsque la protection est assurée par un fusible, la section à prendre en compte correspond à $t = 0,2$, et de la matière isolante et de la nature du métal du conducteur.

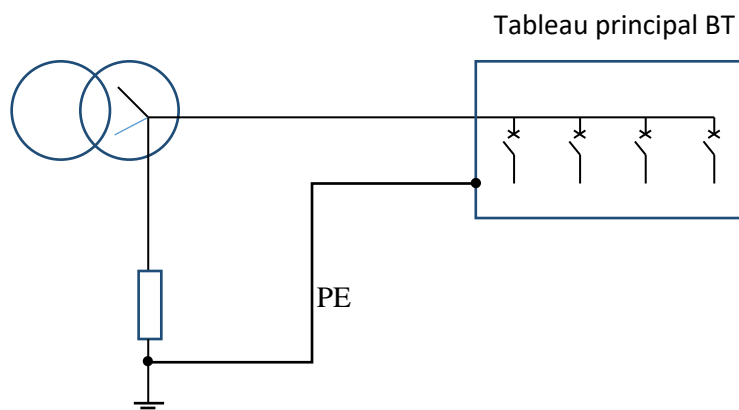


Figure 28: Conducteur PE entre transformateur et tableau principal BT

Chapitre 5 : Calcul des installations

Tableau 18: Section des conducteurs de protection entre transformateur HTA/BT et tableau principal BT

Puissance du transformateur (kVA)		Nature des conducteurs		Conducteurs nus			Conducteurs isolés au PVC			Conducteurs isolés au PR		
Tension		Cuivre	t(s)	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-
127/220 V	230/400 V	Aluminium		-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s
≤ 63	≤ 100	Section des conducteurs de protection S _{PE} (mm ²)		25	25	25	25	25	25	25	25	25
100	160			25	25	35	25	25	50	25	25	35
125	200			25	35	50	25	35	50	25	25	50
160	250			25	35	70	35	50	70	25	35	50
200	315			35	50	70	35	50	95	35	50	70
250	400			50	70	95	50	70	95	35	50	95
315	500			50	70	120	70	95	120	50	70	95
400	630			70	95	150	70	95	150	70	95	120
500	800			70	120	150	95	120	185	70	95	150
630	1000			95	120	185	95	120	185	95	120	150
800	1250			95	150	185	120	150	240	95	120	185

5.8.2.2 Section des conducteurs de protection des masses basse tension : (PE)

La section du conducteur PE est définie en fonction de la section des phases (pour le même métal conducteur) suivant le tableau 19 :

Tableau 19: Section du conducteur PE des masses BT

Schéma de liaison de la terre	Type de circuit	Section PE
IT et TN-S	Inclus $S_{ph} \leq 16 \text{ mm}^2$ $16 \text{ mm}^2 \leq S_{ph} \leq 35 \text{ mm}^2$ $S_{ph} \geq 35 \text{ mm}^2$	$S_{PE} = S_{ph}$ $S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$ $S_{PE} = S_{ph} / 2$
	Séparé	2.5 mm ² avec protection mécanique 4 mm ² sans protection mécanique
TN-C	Cuivre Aluminium	10 mm ² 16 mm ²
TT	Cuivre Aluminium	25 mm ² 35 mm ²

5.8.3 Section des conducteurs d'équipotentialité

5.8.3.1 Conducteur d'équipotentialité principale

La section du conducteur d'équipotentialité principal doit être au moins égale à la moitié de la section du plus grand conducteur de protection de l'installation, avec un minimum de 6 mm². Toutefois, elle peut être limitée à 25 mm² pour le cuivre ou 35 mm² pour l'aluminium.

5.8.3.2 Conducteur d'équipotentialité supplémentaire

Les conducteurs d'équipotentialité permettent de mettre au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs.

Si ce conducteur relie deux masses, sa section doit être supérieure à la plus petite des sections des conducteurs de protection reliés à ces masses (voir figure 29-a).

Si ce conducteur relie une masse à un élément conducteur, sa section doit être supérieure à la moitié de la section du conducteur de protection relié à cette masse (voir figure 29-b).

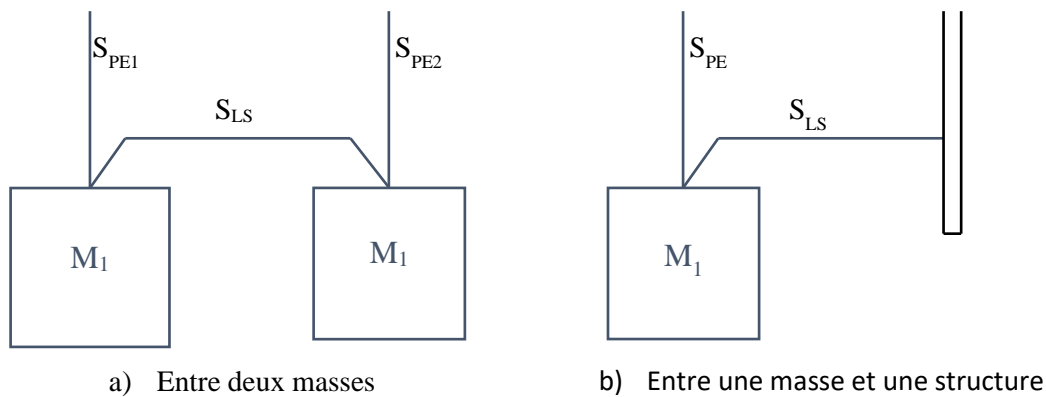


Figure 29: Section des conducteurs d'équipotentialité supplémentaire

5.8.3.3 Section des conducteurs PEN

Le conducteur de protection assure également la fonction du neutre, dans le cas du schéma TN-C. Dans ce cas la section du PEN doit être au moins égale à la plus grande valeur résultant des contraintes suivantes : [19]

- $S_{PEN} \geq \begin{cases} 10 \text{ mm}^2 & \text{pour le cuivre} \\ 16 \text{ mm}^2 & \text{pour l'aluminium} \end{cases}$
- Répondre aux conditions relatives au conducteur PE ;
- Répondre aux conditions imposées pour la section du conducteur neutre.

5.9 Vérification des chutes de tension

L'impédance d'une canalisation est faible mais non nulle : lorsqu'elle est traversée par le courant d'emploi, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité. Or le bon fonctionnement d'un récepteur est conditionné par la tension à ses bornes [25].

Il est donc nécessaire de limiter les chutes de tension en ligne par un dimensionnement correct des canalisations d'alimentation. La limite maximale de la chute de tension varie d'un pays à l'autre. Conformément à la norme NF C 15-100 § 525, la chute de tension entre l'origine de l'installation et tout point d'utilisation ne doit pas être supérieure aux valeurs du tableau suivant

Tableau 20: Chute de tension admissibles dans les réseaux BT [26]

Type d'installation	Eclairage	Autres usages
Alimentation depuis le réseau BT de distribution publique	3%	5%
Alimentation par un poste privé HTA/BT	6%	8%

Chapitre 5 : Calcul des installations





Lorsque la chute de tension est supérieure aux valeurs du tableau 20, il est nécessaire d'augmenter la section de certains circuits afin de revenir dans les domaines de tolérance.

La chute de tension sur une canalisation est calculée par la formule :

$$\Delta V = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) \times I_B \quad (16)$$

- ΔV : chute de tension, en volt
- b : coefficient $\begin{cases} = 1 \text{ pour circuit triphasé} \\ = 2 \text{ pour circuit monophasé} \end{cases}$
- ρ : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20 °C
 $\rho_1 = 0,0225 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre ; $\rho_1 = 0,036 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium
- L : longueur de la canalisation, en mètre
- S : section des conducteurs, en mm^2
- $\cos \varphi$: facteur de puissance ; en l'absence d'indication précise on peut prendre $\cos \varphi = 0,8$
 ($\sin \varphi = 0,6$)
- I_B : courant maximal d'emploi, en ampère
- λ : réactance linéique des conducteurs, en Ω/m

Les valeurs de λ en BT sont :

- $0,08 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$ pour les câbles tripolaires 
- $0,09 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$ pour les câbles unipolaires serrés en nappe  ou en triangle 
- $0,15 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$ pour les câbles unipolaires espacés $d = 8.r$ 

d : distance moyenne entre conducteur

r : rayon des âmes conductrices

On définit la chute de tension relative :

$\frac{\Delta V}{V_n}$ pour les circuits triphasés ou monophasés alimentés entre phase et neutre

$\frac{\Delta V}{U_n}$ pour les circuits monophasés alimentés entre phases (dans ce cas, ΔV représente une chute de tension entre phases)

V_n : tension simple nominale

U_n : tension composée nominale

- Circuits alimentant des moteurs

La chute de tension est calculée en remplaçant le courant d'emploi I_B par le courant de démarrage du moteur.

La norme NF C 15-100 préconise que la chute de tension, en tenant compte de tous les moteurs pouvant démarrer simultanément, soit inférieure à 15 %. Une limitation à 10 % est préférable[9].

5.10 Vérification des contraintes thermiques des conducteurs

Lorsque le courant de court-circuit traverse le conducteur d'une canalisation pendant un temps très court (jusqu'à cinq secondes), l'échauffement est considéré adiabatique ; cela signifie que l'énergie stockée est conservée au niveau du métal du noyau et n'est pas transférée à l'isolant. Par conséquent, il est nécessaire de vérifier si la contrainte thermique du court-circuit est inférieure à la contrainte thermique admissible du conducteur (voir équation 17):

$$t_c I_{cc}^2 \leq k^2 S^2 \quad (17)$$

t_c : temps de coupure du dispositif de protection en seconde ;

S : section des conducteurs en mm^2 ;

I_{cc} : courant de court-circuit en A.

La valeur de k dépend du matériau de l'âme et de la nature de l'isolant (voir tableau 21).

Tableau 21: Valeur du coefficient k conformément à la norme NF C 15-100

Ame	Isolant	PVC	PR
	Cuivre	115	135
	Aluminium	74	87

Si le temps de coupure est donné, la section doit satisfaire la condition :

$$S \leq \frac{I_{cc}}{k} \times \sqrt{t_c}$$

5.11 Exemple d'application

Considérons le schéma de la figure 30 dont les données sont indiquées ci-après. L'installation alimentant des récepteurs nécessitant une bonne continuité de service, on choisit le schéma de liaison à la terre IT sans neutre distribué.

- Canalisation C2

Elle est constituée d'un câble tripolaire en cuivre isolé au PVC, en pose jointive avec 3 autres câbles multiconducteurs, sur des tablettes perforées dans une température ambiante de 40 °C. Elle est protégée par des fusibles. Elle alimente un récepteur dont les caractéristiques sont :

- puissance utile $P_u = 15 \text{ kW}$
- rendement $r = 0,89$
- $\cos \varphi = 0,85$
- facteur d'utilisation $b = 0,9$.

- Canalisation C1

Elle est constituée de 3 câbles unipolaires en cuivre isolés au PR, serrés en triangle. Les câbles sont enterrés seuls, sans protection mécanique complémentaire dans un sol de résistivité thermique 0,85 K.m/W et de température 35 °C. Ils sont protégés par un

disjoncteur. La canalisation alimente le récepteur R1 et 3 autres départs dont les valeurs des courants I_B sont données par la figure 30.

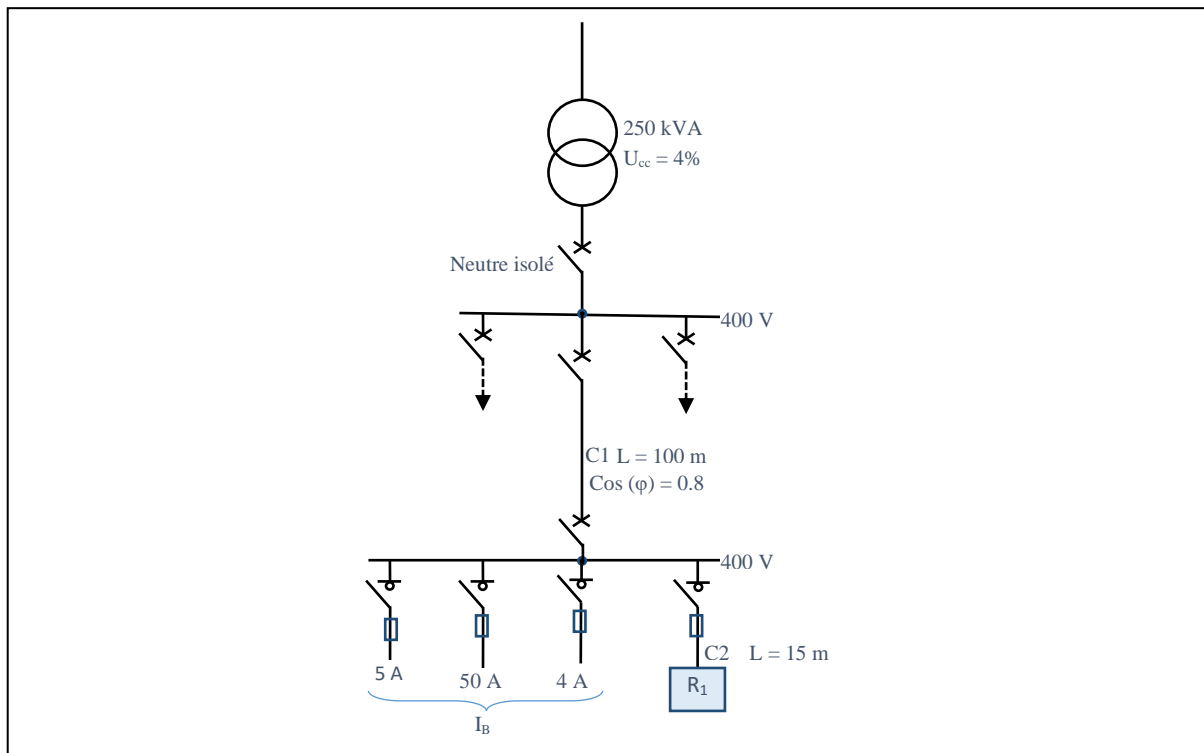


Figure 30: Schéma de l'installation

▪ Détermination du courant maximal d'emploi

❖ Canalisation C2

- $P_u = 15 \text{ kW}$
- Le facteur $a = \frac{1}{r \cos \varphi} = \frac{1}{0.89 \cdot 0.85} = 1.32$
- Le facteur d'utilisation $b = 0.9$
- Pour un seul récepteur le facteur de simultanéité est $c = 1$
- Aucune extension n'est prévue, donc $d = 1$
- Pour un réseau triphasé 400 V, le facteur de conversion des puissances en intensité est $e = 1.4$.

On a alors :

$$I_B = P_u \times a \times b \times c \times d \times e = 15 \times 1.32 \times 0.9 \times 1 \times 1 \times 1.4 = 24.9 \text{ A}$$

❖ Canalisation C1

Le courant maximal d'emploi de la canalisation C1 est obtenu en sommant les courants (I_B) de tous les départs alimentés par C1 et en appliquant un facteur de simultanéité estimé à 0,8.

$$I_B = (25 + 50 + 40 + 24.9) \times 0.8 = 115.9 \text{ A}$$

▪ Facteurs de correction

❖ Canalisation C2

Selon le mode de pose N° 13 et la lettre de sélection E.

Les facteurs de correction à appliquer sont :

- ✓ Température ambiante (voir tableau 11) : $f_2 = 0.87$
- ✓ Groupement de câble (voir tableaux 13 et 14) : $f_{41} = 0.77$ et $f_{42} = 1$

Le facteur de correction global est :

$$f = f_2 \times f_{41} \times f_{42} = 0.87 \times 0.77 \times 1 = 0.67$$

❖ Canalisation C1

Le tableau 5 donne le mode de pose N° 62 et la lettre de sélection D.

Les facteurs de correction à appliquer sont :

- ✓ Température ambiante (voir tableau 11) : $f_2 = 0.89$
- ✓ Groupement de câble (voir tableaux 13) : $f_{41} = 1.05$
- ✓ Groupement de câble (voir tableau 14) : $f_{42} = 1$

Le facteur de correction global est :

$$f = f_2 \times f_{41} \times f_{42} = 0.89 \times 1.05 \times 1 = 0.935$$

▪ Détermination de la section et choix du dispositif de protection

❖ Canalisation C2

$$I_B = 24.9 \text{ A}$$

$$f = 0.67$$

Le courant nominal du fusible doit vérifier la condition $I_n \geq I_B$

On choisit le fusible de calibre $I_n = 25 \text{ A}$

Pour $10 \text{ A} < I_n \leq 25 \text{ A}$, le courant I_z de la canalisation protégée par ce fusible est :

$$I_z = k_3 \cdot I_n = 1.21 I_n = 1.21 \times 25 = 30.3 \text{ A}$$

Le courant équivalent que la canalisation doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards

d'installation est : $I'_z = \frac{I_z}{f} = \frac{30.3}{0.67} = 45.1 \text{ A}$

Le tableau 17 (lettre de sélection E, PVC3, cuivre) donne une section minimale $S = 10 \text{ mm}^2$ qui a un courant admissible $I_0 = 60 \text{ A}$.

❖ Canalisation C1

$$I_B = 115.9 \text{ A}$$

$$f = 0.935$$

Pour un disjoncteur réglable, le courant de réglage doit vérifier la condition $I_r \geq I_B$;
On choisit $I_r = 120 \text{ A}$.

Le courant I_z de la canalisation protégée par ce réglage est :

$$I_z = I_n = 120 \text{ A}$$

Le courant équivalent que la canalisation doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards d'installation est : $I'_z = \frac{I_z}{f} = \frac{120}{0.935} = 128.3 \text{ A}$

Le tableau 17 (lettre de sélection D, PR3, cuivre) donne une section minimale $S = 25 \text{ mm}^2$ qui a un courant admissible $I_0 = 144 \text{ A}$.

▪ Vérification de la chute de tension

❖ Canalisation C2

$$S = 10 \text{ mm}^2, L = 15 \text{ m}, I_B = 24.9 \text{ A}$$

Le câble est tripolaire, on a donc $\lambda = 0.08 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$

Le facteur de puissance est: $\cos \varphi = 0.85$, d'où $\sin \varphi = 0.53$

$$\text{On en déduit } \Delta V = \left(0.0225 \times \frac{15}{10} \times 0.85 + 0.08 \times 10^{-3} \times 15 \times 0.53 \right) \times 24.9$$

$$\Delta V = 0.73 \text{ V}$$

$$\text{D'où : } \frac{\Delta V}{V_n} = \frac{0.73}{230} = 0.3\%$$

La chute de tension totale est 4,2 % (la chute de tension dans la canalisation C1 est 3,9 %, voir ci-dessous). Elle est inférieure à la chute de tension admissible (5 %) indiquée dans le tableau 20.

❖ Canalisation C1

$$S = 25 \text{ mm}^2, L = 100 \text{ m}, I_B = 115.9 \text{ A}$$

Les 3 câbles unipolaires sont serrés en triangle, on a donc $\lambda = 0.09 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$

Le facteur de puissance est : $\cos \varphi = 0.8$, d'où $\sin \varphi = 0.6$

Pour un circuit triphasé $b = 1$

Pour le cuivre $\rho_1 = 0.0225 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$

$$\text{On en déduit } \Delta V = \left(0.0225 \times \frac{100}{25} \times 0.8 + 0.09 \times 10^{-3} \times 100 \times 0.6 \right) \times 115.9$$

$$\Delta V = 8.97 \text{ V}$$

$$D'o\grave{u} : \frac{\Delta V}{V_n} = \frac{8.97}{230} = 3.9\%$$

▪ Vérification de la contrainte thermique

❖ Canalisation C2

Pour une protection par fusible, le courant à prendre en compte est le courant de court-circuit minimal à l'extrémité de la canalisation. Pour le schéma *IT*, c'est le courant de court-circuit pour un double défaut phase-terre.

En appliquant la méthode conventionnelle, on calcule :

$$I_{cc\ min} = \frac{\sqrt{3} \times V_n \times 0.8}{2L_2\rho \left(\frac{1}{S_{ph}} + \frac{1}{S_{PE}} \right)} = \frac{\sqrt{3} \times 230 \times 0.8}{2 \times 15 \times 0.027 \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10} \right)} = 1.97\ kA$$

La caractéristique temps-courant du fusible de 25 A nous donne un temps de fusion $t_f = 5\ ms$

Pour un courant de 1.97 kA.

La contrainte thermique maximale est donc :

$$I_{cc\ min}^2 \times t = (1.97 \times 10^3)^2 \times 5 \times 10^{-3} = 19.4 \times 10^3\ A^2 \times s$$

La contrainte thermique admissible par le câble est :

$$k^2 \times S^2 = (115)^2 \times (10)^2 = 1322 \times 10^3\ A^2 \times s$$

La section $S = 10\ mm^2$ supporte donc largement la contrainte thermique du fusible.

❖ Canalisation C1

Le courant de court-circuit maximal au niveau du disjoncteur (en négligeant la liaison reliant le disjoncteur au transformateur) est :

$$I_{cc} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} \times \frac{1}{U_{cc}} = \frac{250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \times \frac{100}{4} = 9.02\ kA$$

On suppose que le déclencheur du disjoncteur soit temporisé à 0,1 seconde, la contrainte thermique maximale du court-circuit est alors :

$$I_{cc\ min}^2 \times t = (9.02 \times 10^3)^2 \times 0.1 = 8.14 \times 10^6\ A^2 \times s$$

La contrainte thermique admissible par le câble est :

$$k^2 \times S^2 = (143)^2 \times (25)^2 = 12.78 \times 10^6\ A^2 \times s$$

La section $S = 25\ mm^2$ supporte donc la contrainte thermique du disjoncteur.

▪ Conclusion

Les sections à retenir sont :

- Canalisation C1 : $3 \times 35\ mm^2 + 1 \times 16$ cuivre

- Canalisation C2 : $3 \times 10 \text{ mm}^2 + 1 \times 10$ cuivre

Chapitre 6 :

Câblage et maintenance

6 Chapitre 6 : Câblage et maintenance

6.1 Introduction

Aujourd'hui, dans l'industrie, le souci des utilisateurs d'électricité de se garantir une continuité de service, compte tenu des pertes souvent énormes engendrées par un arrêt de fonctionnement de leur installation.

Pour cela tous les constructeurs d'équipements, propose systématiquement à ses clients un premier niveau de maintenance préventive dite de routine. Il se fait à intervalle de temps régulier afin de garantir les performances minimales, dans la durée de vie des équipements, cela à condition qu'ils soient utilisés dans les conditions normales.

6.2 Les causes de défaillances des installations électriques

6.2.1 Environnement /Pollution

Cette famille comprend les causes de défaillances liées à l'environnement dans lequel se trouvent les composants d'une installation électrique.

Un environnement humide favorise l'oxydation des pièces métalliques dans l'installation. La poussière ou les environnements corrosifs (par exemple, ceux rencontrés dans les papeteries) peuvent corroder les contacts électriques. Cela provoque une augmentation de la résistance des contacts pollués[27].

6.2.2 Défauts de raccordements

Ces défauts de connexion incluent le mauvais serrage des connexions des câbles et jeux de barres. Ils comprennent également de mauvaises connexions dues à des vis inappropriées. Un défaut de raccordement entraînera l'augmentation de la résistance électrique de la connexion.

6.2.3 Défauts appareillages et ventilations

Cette famille comprend les pannes du système de ventilation ou des appareils installés dans l'installation électrique. Selon les experts, un défaut au niveau de l'appareillage ou une mauvaise ventilation peut provoquer le déclenchement inopiné de l'équipement, dus à une élévation de la température ambiante de l'installation électrique.

6.2.4 Surcharges

Nous considérons uniquement les surcharges de courant, dans cette famille. Ces surcharges peuvent être causées à un mauvais dimensionnement des jeux de barres et autres appareillages. Elles peuvent être aussi dues à un ajout de charges supplémentaires par rapport à ce qu'a été dimensionné au départ. Comme Nous citons aussi dans cette famille les surcharges du neutre due à la présence d'harmoniques de rang 3.

6.2.5 Objets oubliés ou intrusions extérieures

L'intrusion d'animaux dans les tableaux (souris, insectes, oiseaux) est l'une des causes du court-circuit. Par exemple, après des opérations de maintenance, L'oubli de clés et autres objets conducteurs dans les tableaux, peuvent aussi être la cause d'un court-circuit.

6.3 Détection et Diagnostic des défauts des installations électriques par la mesure de la température

6.3.1 La surveillance thermique hier et aujourd'hui

Aujourd'hui, ces deux méthodes sont encore largement utilisées pour prédire le risque de défaillance de l'installation électrique créé par un échauffement excessif, sont :

- Les inspections régulières utilisent 5 sens humains ;
- Les inspections régulières en utilisant de la thermographie infrarouge.

Concernant la première pratique, on voit généralement l'agent de maintenance se promène dans l'installation électrique, ouvre et inspecte les armoires, à la recherche de câbles fondus, d'un jeu de barre qui change de couleur, ou pour détecter l'odeur d'un composant qui brûle ou qui surchauffe. Par conséquent, les sens les plus couramment utilisés sont la vue, l'odorat et le toucher.

Tandis que la thermographie infrarouge permet de localiser les points chauds à partir d'une photo thermique. Tout objet à température normale (supérieure au zéro absolu) émet un rayonnement dans le domaine infrarouge dépendant de sa température. C'est cette propriété qui est utilisée par l'électronique des détecteurs infrarouges pour donner la température d'un objet en captant l'énergie infrarouge qu'il émet [27].

6.3.2 La surveillance thermique de demain

Si nous voulons avoir une surveillance continue de l'installation électrique, pour nous permettra d'analyser plus efficacement les éventuelles dérives et faire une bonne planification de la maintenance prédictive. Nous devons utiliser les outils d'aide à la détection et au diagnostic réalisés devront s'appuyer sur la chaîne logistique d'acquisition des données via le Web. Cette chaîne se compose d'éléments communicants :

- Communication "Micrologics": composants intégrés dans le disjoncteur pour la mesure du courant ;
- "PowerMeters" pour mesurer le courant, la tension et le taux d'harmoniques ;
- Les capteurs de température sans fil ;
- Un serveur de stockage de données.

6.4 L'exploitation de l'installation électrique industrielle

L'exploitation d'une installation électrique signifie des activités visant à maintenir l'installation électrique fonctionnelle, impliquant principalement la commande, le contrôle, l'inspection, l'entretien et l'exécution de travaux électriques et autres.

- La personne en charge d'une installation électrique prépare le plan d'exploitation de l'installation électrique et inspecte cette dernière ;
- Exécution des travaux d'exploitation conformément à la loi ;
- Inspection visuelle de l'installation électrique, et contrôle de sa propreté.

6.4.1 Inspection des équipements de distribution d'électricité et des tableaux :

- Vérification de l'existence d'autocollants et marquages, signaux de sécurité ;
- Vérification de l'existence des schémas électriques des tableaux et de leurs conformités à la situation réelle ;
- Surveillance des vibrations et du bruit des contacteurs et des relais ;
- À la recherche d'éventuels signes de chauffage ;
- Contrôle de l'étanchéité des contacts ;
- Contrôle de l'état des interrupteurs de protection ;
- Contrôle de l'état des marquages des câbles et de leur conformité à la situation réelle ;
- Contrôle de la conformité des équipements de protection aux exigences ;
- Contrôle de l'état des connexions écrou-boulon ;
- Vérification de l'existence de tous les câbles terriens nécessaires et inspection de leurs états ;
- Contrôle de la propreté des tableaux et équipements lors des travaux d'exploitation, les nettoyer si nécessaire.

6.4.2 Inspection des installations d'éclairage :

- Contrôle de l'état des luminaires et des sources lumineuses, remplacement des sources lumineuses si nécessaire ;
- Contrôle du fonctionnement des appareillages d'éclairage et de la commutation en temps opportun des luminaires ;
- Surveiller la propreté des luminaires et faire des suggestions pour les ranger ;

6.4.3 Inspection des câbles d'alimentation et installation de mise à la terre :

- Inspecter visuellement l'installation et faire des suggestions pour le ranger ;
- Vérifier l'étanchéité des contacts d'extrémité de câble, les resserrer si nécessaire ;

- Inspection des minuteriers programmables et des compteurs de consommation électrique ;
- Contrôle visuel de la précision des minuteriers programmables ;
- Contrôle visuel de l'état des compteurs de consommation électrique ;
- Tenir et classer un journal d'inspection ;
- Maintenance du système de protection contre la foudre conformément à la loi ;
- Faire fonctionner le système d'éclairage de sécurité et tester le système de protection contre les courants de fuite conformément à la loi; effectuer des travaux d'entretien ;
- Réalisation de mesures électriques et d'inspections techniques.

6.5 La maintenance industrielle

En général, les philosophies de maintenance adoptées dans les installations électriques industrielles peuvent être classées comme appartenant à l'un des éléments suivants :

6.5.1 La maintenance corrective ou curative

La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Selon la norme NF EN 13306, la maintenance corrective peut être [28] :

- Différée : maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données.
- D'urgence : maintenance corrective exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables.

Elle est couramment appliquée à des composants plus petits, où la réparation est plus coûteuse que le remplacement, et où la perte du composant particulier pendant le fonctionnement ne perturbe pas la production d'énergie électrique.

6.5.2 La maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien (EN 13306 : avril 2001).

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

6.5.2.1 *La maintenance préventive systématique*

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien (EN 13306 : avril 2001).

Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycles effectués, etc.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

6.5.2.2 *La maintenance préventive conditionnelle*

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue (EN 13306 : avril 2001).

Remarque : la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

6.6 Maintenance préventive électrique

Avec un programme MPE les dangers potentiels pouvant entraîner une défaillance de l'équipement ou une interruption du service électrique peuvent être découverts et corrigés [28]. Un équipement correctement entretenu réduit les temps d'arrêt en minimisant les pannes catastrophiques. Pour assurer le bon fonctionnement des équipements et appareils électriques, il est nécessaire de mettre en place un programme MPE efficace.

6.6.1 Stratégies de la MPE

Une grande partie d'une maintenance préventive efficace des équipements électriques peut être résumée par quatre règles :

- Gardez-le sec.

- Gardez le propre.
- Gardez le cool.
- Gardez-le serré.

Il existe un certain nombre d'approches philosophiques traditionnelles de la maintenance électrique, telles que l'exécution en cas de panne, la maintenance si nécessaire, la maintenance selon des calendriers fixes et la maintenance prédictive.

6.6.2 Critères généraux pour un MPE efficace

L'équipement électrique efficace et les programmes de MPE et d'essai des sous-systèmes doivent satisfaire aux critères énumérés ci-dessous.

Tout d'abord et le plus fondamental, un programme MPE structuré devrait réellement exister.

Autrement dit, un programme MPE doit être effectué comme suit :

- Sous contrôle de gestion formel
- Conformément aux pratiques et horaires définis
- Par des personnes clairement désignées

Plus précisément :

- La direction doit attribuer une priorité élevée à MPE.
- Les activités MPE doivent être classées par ordre de priorité en fonction de la criticité des systèmes et équipements impliqués.
- Le programme MPE doit être effectué selon des procédures écrites non ambiguës.
- Le programme MPE doit intégrer des dispositions efficaces pour l'analyse, la correction et le contrôle de la récurrence des causes premières des défaillances.
- Des systèmes d'information doivent être en place pour enregistrer et mettre à jour l'historique d'entretien.
- Le programme de MPE ne doit être effectué que par du personnel qualifié.
- La direction doit surveiller et réévaluer en permanence l'efficacité du programme MPE.

Références

- [1] M. Rachid, 'Normes et schémas électriques', Polycopie pédagogique, Institut Algérien du pétrole, Skikda, Algérie.
- [2] W. van Halderen, 'The Importance and Benefits of Standards in the Electric Utility Industry', Canadian Electricity Association (CEA), 2015.
- [3] '142 publications since 2020-11-02', 2020. https://webstore.iec.ch/justpublished#accordion__collapse__1.
- [4] N. Kenza, 'NORMALISATION ET L ' ÉVALUATION Statut de l ' IANOR', Alger, 2014.
- [5] M. D. L. D. L. P. E. M. E. E. D. L. P. DE L'INVESTISSEMENT, 'LA NORMALISATION En ALGERIE CAS CETA'. .
- [6] B. Noredine, 'Schémas et Appareillages électriques', Polycopie pédagogique, Centre Universitaire de Relizane, 2014.
- [7] SOYED-Abdessamī, 'Manuel de cours et exercices: Electricité industrielle', Polycopie pédagogique, Institut supérieure des études technologiques de Nabeul, Tunis, 2017.
- [8] A. Abdesselam, 'Réseaux électriques industriels', Polycopie pédagogique, Université TAHRI Mohammed Béchar, 2019.
- [9] R. J. Christophe Prévé, *Guide de conception des réseaux électriques industriels*. Schneider Electric, 2009.
- [10] 'Présence d'Alimentation Sans Interruption (ASI)'. [https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Présence_d%27Alimentation_Sans_Interruption_\(ASI\)](https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Présence_d%27Alimentation_Sans_Interruption_(ASI)).
- [11] 'Domaines de tension', 2020. <http://www.habiliteation-electrique.com/habiliter,3,domains-tension.html>.
- [12] J. M. Boust, *Appareillages et installation électriques industriels*, Dunod. 2008.
- [13] P. par Schneider, 'Les canalisations', 2020. https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Les_canalisations.
- [14] B. Joel, 'Canalisations électriques'.
- [15] S. G. WILDI Théodore, *ELECTROTECHNIQUE*. 2005.
- [16] H. W. B. Roger C. Dugan, Mark F. mCgRANAGHAN, Surya Santos, *Electrical Power Systems Quality , Second Edition*, Copyright. .
- [17] J. C. Das and M. Dekker, *Power System Analysis Short-Circuit Load Flow and Harmonics*, Marcel Dek. New York. Basel, 2002.
- [18] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility Second Edition*, John Wiley. 2006.
- [19] M. Sanchez, 'Le schéma de liaison à la terre TN'.
- [20] SEDOC, 'Système de liaison à la terre IT Guide d ' application Système de liaison à la terre IT', 2013.

- [21] W. A. Thue, *Electrical power cable engineering*, Marcel Dek., vol. 53, no. 9. New York. Basel, 2019.
- [22] C. Prévé, *Protection of Electrical Networks*, ISTE Ltd. 2006.
- [23] S. Jacques, 'Un conducteur actif et singulier : le neutre', 2004.
- [24] 'Dimensionnement du conducteur neutre'. [https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Dimensionnement_du_conducteur_neutre#:~:text=le conducteur neutre est protégé,25 mm2 en aluminium.](https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Dimensionnement_du_conducteur_neutre#:~:text=le%20conducteur%20neutre%20est%20prot%C3%A9g%C3%A9,25%20mm2%20en%20aluminium.)
- [25] 'Détermination de la chute de tension', 2020. [https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Détermination_de_la_chute_de_tension.](https://fr.electrical-installation.org/frwiki/D%C3%A9termination_de_la_chute_de_tension.)
- [26] 'Calcul de la chute de tension et section des cables', 2020. [https://schema-electrique.net/calcul-chute-de-tension-electrique-formule-calcul-section-cable-triphas-monophas.html.](https://schema-electrique.net/calcul-chute-de-tension-electrique-formule-calcul-section-cable-triphas-monophas.html)
- [27] Guessan Kahan, 'Methodes Et Outils D'Aide Au Diagnostic Et a La Maintenance Des Tableaux Electriques Generaux Par Le Suivi Des Grandeurs Physiques Caracteristiques Et De Leur Fonctionnement', INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE N°, 2008.
- [28] G. Klempner and I. Kerszenbaum, *Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators*, IEEE Press. 2005.