



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Prévention intervention

Thème

Les risques électriques liés aux distributions de l'énergie électrique

Présenté et soutenu publiquement par :

Djaafri Athman abdenour

et

Bendouma Hichem

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme BELOUFA Khadidja	MAA	Université d'oran 2	Président
Mme Talhi Mama	MCA	Université d'oran 2	Encadreur
Mme MECHKEN Karima Amel	MCB	Université d'oran 2	Examinatrice

Année 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous remercions DIEU pour le souffle de vie et toutes les capacités physiques et intellectuelles utilisées pour réaliser ce travail.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mm M. TALHI, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous remercions le corps académique de l'Institut de maintenance et de sécurité industrielle pour le cadre et la formation reçue tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous remercions tous ceux qui de loin ou de près ont procuré leurs apports pour la construction de cet édifice, nous exprimons ici grandement notre reconnaissance.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

DJAAFRI ATHEMAN ADDENOUR.

Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce modeste travail à ce qui, quel que soit les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et mon respect : mon cher père

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux : mon adorable mère

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans oublier mon binôme Abdenour pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

BENDOUMA HICHAM

Sommaire

Introduction générale.....	1
PREMIERE PARTIE	
Production de l'énergie électrique	
Chapitre I	
Rappel sur les principales notions d'électricité	
I-1. INTRODUCTION	4
I-2. HISTORIQUE.....	5
I-3. NATURE DE L'ELECTRICITE	6
I-4. ELECTRICITE STATIQUE / DYNAMIQUE.....	6
I-4-1. ELECTRICITE STATIQUE	6
I-4-2. ELECTRICITE DYNAMIQUE.....	8
I-5. COURANT ELECTRIQUE.....	8
I-6. GRANDEURS ELECTRIQUES	10
I-6-1. INTENSITE DU COURANT ELECTRIQUE.....	10
I-6-2. RESISTANCE DU COURANT.....	10
I-6-3. TENSION / PUISSANCE / ENERGIE.....	11
I-6-3-1. TENSION	11
I-6-3-2. PUISSANCE.....	11
I-6-3-3. ENERGIE ELECTRIQUE.....	11
I-6-4. CHAMP ELECTRIQUE	12
I-6-5 CONDUCTIBILITE ELECTRIQUE	13
I-7. RECEPTEURS	14
I-8. CONCLUSION.....	15
Chapitre II	
Production de l'énergie électrique	
II-1. INTRODUCTION :	17
II-2. DEFINITIONS	17
II-3. Organisation du réseau électrique.....	18
II.3.1 Centrales thermiques	18
II.3.2. Centrales nucléaires	19
II.3.3. Centrales hydroélectriques	19
II.3.4. Centrales solaires ou photovoltaïques.....	20
II.3.5. Centrales éoliennes	20
Chapitre III	
Production de l'énergie électrique en Algérie	
III.1. INTRODUCTION :	23
III.2. HISTORIQUE DE LA SOCIETE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE « SPE » :	23
III.3. LA PRODUCTION D'ELECTRICITE EN ALGERIE	24
III.4. PRINCIPAUX PRODUCTEURS D'ELECTRICITE EN ALGERIE.....	24
III. 5. CAPACITE DE PRODUCTION ET POTENTIALITES EN ENERGIE ELECTRIQUE	25
III.5.1 CENTRALES DE PRODUCTION NATIONALE SPE	25
III.5.2 PLAN DE DEVELOPPEMENT DU PARC DE PRODUCTION SPE	26
III.5.3 CAPACITES DES ENERGIES RENOUVELABLES	27
III.5.4 PLAN DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES	28
Chapitre IV	
Mode de transport, répartition et distribution d'énergie électrique	
IV.1 Niveau de tension :	31
IV.2 Topologie de réseau électrique.....	31
IV.2.1 Réseau maillé.....	31
IV.2.2 Réseau bouclé	31
IV.2.3 Réseau radial	31
IV.2.4 Réseau arborescent :	32

Sommaire

IV.3 Équipements et architectures des postes	32
IV.4 Poste HT/MT	33
IV.5 Architectures des réseaux de distribution urbains et ruraux.....	34
IV.6.Réseaux.MT	34
IV.6.A.Réseau.de.type.nord-américain	35
IV.6.B.Réseau.de.type.européen	36
IV.6.Réseaux.MT.souterrains.....	37
IV.7-PostesHTA/BT	39
IV.7.A.Poste.sur.poteau.....	40
IV.7.B. Poste bas simplifié sous capot	40
IV.7.C. Poste de type urbain raccordé en souterrain	40
IV.8 Réseaux BT	41
IV.8. A. Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation.....	41
IV.8. B. Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage	41
IV.9Réseaux.ruraux.....	42

DEUXIEME PARTIE

Chapitre I

RISQUES ELECTRIQUES

I-1. INTRODUCTION	45
I-2. NATURE DES ACCIDENTS ELECTRIQUES	45
I-2-1.ACCIDENTS ELECTRIQUES SUR L'HOMME.....	46
I-2-1-1. PAR CONTACT DIRECT AVEC UNE PIECE NUE SOUS TENSION.....	46
I-2-1-2. PAR CONTACT INDIRECT.....	48
I-2-1-3. BRULURE, INCENDIE OU EXPLOSION D'ORIGINE ELECTRIQUE.....	50
I-2-1-4. SENSIBILITE AU COURANT ELECTRIQUE	50
I-2-2. TERMINOLOGIE LIEE AUX ACCIDENTS D'ORIGINE ELECTRIQUE.....	51
I-2-3. INTENSITE DE COURANT	55
I-2-3-1. CONDITIONS DE CONTACT	55
I-2-3-2. NATURE ET DUREE DU PASSAGE DU COURANT	55
I-2-3-3. ACTIONS PHYSIOPATHOLOGIQUES / CLINIQUES DU COURANT ELECTRIQUE :	56
I-2.3-3-1. ACTIONS PHYSIOPATHOLOGIQUES DU COURANT ELECTRIQUE.....	56
I-2-3-3-2. ACTIONS CLINIQUES DU COURANT ELECTRIQUE.....	58
I-2-4. IMPEDANCE DU CORPS HUMAIN	63
I-2-5. SEUILS DE DANGER DU COURANT ELECTRIQUE:	64
I-2-5-1. SEUIL DE PERCEPTION DU COURANT ELECTRIQUE.....	65
I-2-5-2. SEUIL DE TETANISATION:	66
I-2-5-3. SEUIL DE FIBRILLATION VENTRICULAIRE :	66
I-2-5-4. SEUILS DE BRULURE:	66
I-2-5-5. SEUIL DE L'ARRET CARDIAQUE :	67
I-2-5-6. SEUIL DE L'INHIBITION DES CENTRES NERVEUX :	67
I-2-6. EFFETS DU COURANT ELECTRIQUE SUR L'HOMME	67
I-2-6-1. EFFETS IMMEDIATS	67
I-2-6-2. EFFETS SECONDAIRES	73
I-2-7. EFFETS DU COURANT ELECTRIQUE SUR LE MATERIEL.....	76
I-2-8. EFFETS D'ACCIDENTS ELECTRIQUES SELON LE DOMAINE DE TENSION :	76
I-2-8-1. TENSION DU COURANT ELECTRIQUE (volt : V).....	76
I-2-8-2. DOMAINE DE TENSION EN ALTERNATIF.....	77
I-2-8-3. DOMAINE DE TENSION EN CONTINU	77
I-2-9. Effets du courant électrique sur l'environnement.....	77
I-2-10. PRINCIPALES CAUSES DU RISQUE ELECTRIQUE.....	78

TROISIÈME PARTIE

Prévention contre les risques électriques

Chapitre I

Enseignements de la prévention des électriques

I-1. INTRODUCTION	81
I-1. IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION DES RISQUES SUR LE LIEU DE TRAVAIL.....	82
I-2. ANALYSE DES RISQUES PROFESSIONNELS	82
I-2-1. RISQUE (selon Petit Larousse illustré1989).....	82
I-2-2. ANALYSE DES RISQUES.....	83
I-2-3. DÉMARCHE D'ANALYSE DE RISQUE	83
II-2-4- MODEL D'ANALYSE DES RISQUES PROFESSIONNELS.....	84
I-2-5. INDICATEURS DE SECURITE.....	85
I-3. LEGENDE ET HISTOIRE SUR LE RISQUE ELECTRIQUE.....	86
I-4. ENSEIGNEMENT DE LA PREVENTION DES RISQUESPROFESSIONNELS POUR L'HABILITATION ELECTRIQUE.....	87
I-4-1.TEXTES RÉGLEMENTAIRES ET NORMES CODE DU TRAVAIL/ DEFINITION DE LA PUBLICATION UTE C 18-510- OBLIGATIONS.....	87
I-4-1-1. ORGANISATION DES TEXTES	88
I-4-2. OBLIGATIONS DES EMPLOYEURS:.....	89
I-4-3.ORGANISATIONS DES NORMES ELECTRIQUE.....	93
I-4-4. DECRET DU 14 NOVEMBRE 1998	93
I-4-5. MASSES METALLIQUES	94
II-5.TEXTES OFFICIELS ALGERIENNES	97
II-5-1. LE CONTEXTE REGLEMENTAIRE	97
I-6. RISQUES PROFESSIONNELS SPECIFIQUES AUX RISQUES ELECTRIQUES... 98	
I-7. EDUCATION A LA SECURITE ELECTRIQUE.....	99
I-7-1. EDUCATION A LA SECURITE ET A LA PREVENTION DESRISQUES / ELEMENTS DE SECURITE ELECTRIQUE.....	99

Chapitre II

Voisinage & moyens de protection

II-1. INTRODUCTION	102
II-2. ZONES DE VOISINAGE	102
III-2-1. DISTANCE LIMITE D'INVESTIGATION:	103
II-2-2. ZONE D'INVESTIGATION.....	103
II-2-3. DISTANCE LIMITE DE VOISINAGE SIMPLE.....	104
II-2-4. VOISINAGE	104
II-2-5. DISTANCE MINIMALE D'APPROCHE	105
II-2-5-1 DISTANCE DE TENSION (t):	105
II-2-5-2.DISTANCE DE GARDE (g).....	106
II-2-6. ZONE DE VOISINAGE BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS (B.TP)	107
II-2-7. ZONEDES TRAVAUX SOUS TENSION EN HAUTE TENSION	107
II-2-8. DISTANCES LIMITES ET ZONES DEFINIES DANS LES LOCAUX ET EMPLACEMENTS D'ACCES RESERVE AUX ELECTRICIENS	108
II-3. OPERATION EN ZONE DE VOISINAGE.....	109
III-3-1-CAS DES OPERATIONS EFFECTUEES DANS LE DOMAINE DE LA BASSE TENSION	109
II-3-2.CAS DES OPERATIONS EFFECTUEES DANS LE DOMAINE DE LA HAUTE TENSION	110
II-4. ZONE D'ENVIRONNEMENT.....	110
II-4-1.DIFFERENTES ZONES D'ENVIRONNEMENTIII-4-1-1. ZONE 1	110
II-4-1-2. ZONE 2.....	111
II-4-1-3. ZONE 4.....	112

Sommaire

II-5. ZONE DE TRAVAIL ET BALISAGE	113
II-5-1. DEFINITIONS.....	113
II-5-2. DELIMITATION DE LA ZONE DE TRAVAIL ET DU MATERIEL DE SIGNALISATION	114
II-5-2-1. VOIE D'ACCES A LA ZONE DE TRAVAIL	114
II-5-2-2. ENTREE ET SORTIE DE LA ZONE DE TRAVAIL	114
II-6. INSTRUCTION PERMANENTE DE SECURITE.....	115
II-7. MESURES DE SECURITE POUR LE MATERIEL ELECTRIQUE	115
II-7.1. DEGRES DE PROTECTION DU MATERIEL ELECTRIQUE	117
II-8. ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI).....	117
II-9. PROTECTIONS COLLECTIVES ET L'OUTILLAGE.....	121
II-10. EQUIPEMENTS INDIVIDUELS DE SECURITE (EIS)	125
II-11. EQUIPEMENTS COLLECTIFS DE SECURITE (ECS).....	127
V-12. CONCLUSION	128
CONCLUSION GENERALE	130
BIBLIOGRAPHIE	131

Liste des Figures

Figure I-1 : Forces générées par deux atomes chargés.	6
Figure I.2 : Noyau d'atome.	7
Figure I.3 : Déplacement des charges du courant électrique.	8
Figure I.4 : Circuit en série	9
Figure I.5 : Circuit en parallèle.	9
Figure I.6 : Circuit mixte.....	9
Figure I.7 : Symbole d'une résistance.....	10
Figure I-8 : Les lignes à haute tension véhiculent l'électricité.....	12
Figure I.9. Récepteurs électrique.	14
Figure I.10: Représentation graphique de « U » aux bornes d'un récepteur en fonction de « I »	15
Figure II.11 : Architecture d'un réseau électrique.	18
Figure II.12 : 3ème bleu électrique.	19
Figure II.13 : Schéma de centre nucléaire.....	19
Figure II.14 : Comment produire l'énergie électrique.	20
Figure II.15 : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque.....	20
Figure II.16 : schéma de principe d'une production éolienne.....	21
Figure III.17 : Carte des sites de production d'électricité en Algérie selon SPE.....	26
Figure III.18 : sites des centrales CC et TG des projets SPE à réaliser en 2018-2021.	27
Figure III.19 : structure de production d'électricité 2002-2015.....	28
Figure IV .20 : Différentes topologies des réseaux électriques : (a) Réseau maillé, (b). Réseau bouclé, (c). Réseau radial, (d). Réseau arborescent	32
Figure IV.21 : Schéma d'un poste HT/MT	33
Figure IV.22 : Schéma du principe d'une rame MT	33
Figure IV.23 : Architecture à couplage de disjoncteur-Schéma à un disjoncteur et demi.....	34
Figure IV.24 : Structure d'un départ MT	35
Figure IV.26 : Structure d'un départ aérien MT (à neutre distribué).....	36
Figure IV.27 : Modes de distribution (sans neutre distribué, mixte deux ou trois phases).....	37
Figure IV.26 : Réseaux en double dérivation	38
Figure IV 27 : Alimentation par voies multiples	38
Figure IV.28 : Réseaux en coupure d'artère	39
Figure IV.29 : Structures de postes HTA/BT	40
Figure IV.30 : Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	41
Figure IV.31 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage.....	42
Figure IV.32 : Réseau rural.....	42
Figure I.33 : Electrocutation par ligne de contact alimentant UN pont roulant	47
Figure I.34 : Travail sous tension dans un sous-sol	48
Figure I.35: Electrocutation dans une filature.....	49
Figure I.36 : Mécanisme d'électrisation.....	51
Figure I.37 : Accident par Contact Direct.....	52
Figure I.38 : Electrocutation mortelle	53
figure I.39 : Electrisation et intensité	53
Figure I.40: Nature et durée du Courant Electrique	56
Figure I.41 : Variation de la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et de l'état de la peau	64
Figure I.42: Seuils de danger du courant électrique.....	65
Figure I.43: Seuils de danger du courant électrique alternatif.	67
Figure I.45: Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain	68
Figure I.46: Principaux effets du courant électrique sur l'homme	68
Figure I.47: Les effets de la contraction musculaire	69
Figure I:48: Les effets de la téτανisation des muscles respiratoire.....	69
Figure I.49: Les effets de la fibrillation ventriculaire	70
Figure I.50: Fibrillation Ventriculaire (D'après Dr Foliot).....	71

Liste des Figures

Figure I.51: les effets de l'inhibition des centres nerveux	72
Figure I.53: Exemple d'accident	72
Figure I.54: Exemple d'accident	73
Figure I.55: Les complications cardio-vasculaires.....	73
Figure I.56: Les complications neurologiques	74
Figure I.57: les complications neurologiques	74
Figure I.58: les séquelles sensorielles	75
Figure I.59: Explosion d'origine électrique	78
Figure II.61. Organisation des textes	89
Figure II.62. Decret du 14 novembre 1998	94
Figure II.63. Schémas d'Installation Electrique / Equipement électrique.....	96
Figure I.64. Contact direct et indirect.	98
Figure II.65: Arc électrique.....	99
Figure II.66.. Distance limite d'investigation autour d'un conducteur nu en champ libre.....	103
Figure II.109 : Zones autour d'un conducteur nu en champ libre en haute tension.....	107
Figure II.67 Zones autour d'un conducteur nu en champ libre en basse tension	107
Figure II.68: Zones en champ libre (courant alternatif)	108
Figure II.69 : Zones à l'intérieur d'un local et emplacement d'accès réservé aux électriciens (courant alternatif).....	108
Figure II.70: opère à moins de 30 cm de pièces nues sous tension.	109
Figure II.71. Zone de travail signalisée.....	114
Figure II.72: Equipements de protection individuelle pour les travaux sous basse tension.....	121
Figure II.73. Nappes, capuchons et pinces.....	122
Figure II.74 -a : Outils isolants.....	124
Figure II.74-b : Outils isolants	125
Figure II.75. Tapis isolants	125
Figure II.76.Tabouret isolant.....	126
Figure II.76 : Vérificateur d'absence de tension en BT	126
Figure II.77 : Tresse de mise en court-circuit et à la terre des conducteurs actifs	127
Figure II.78 : Outils isolant	127
Figure II.79 : Balisage.....	128

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Centrales qui compose le parc de production de l'énergie électrique.	25
Tableau I.2 : Plan de développement des Moyens de production de l'électricité en turbine à Gaz et cycle combiné 2018-2021	27
Tableau I.3 : Production d'électricité par source pour la période de 2002-2015.....	28
Tableau I.4 : Accidents par contact direct et indirect.....	45
Tableau I.5 : Electrocuton par ligne de contact.....	47
Tableau I.6: Travail sous tension	47
Tableau I.7: Eclairage provisoire	49
Tableau I.8: Electrocuton dans une filature	49
Tableau I.9: Enlèvement d'un fusible en charge.....	50
Tableau I.10: Ouverture d'un sectionneur en charge	50
Tableau I.11: Facteurs de courant de cœur pour différents trajets du courant	55
Tableau I.12 Effets physiologiques de l'intensité du courant électrique -simplifié-	57
Tableau I.13: Zones temps courant en tension alternative de fréquences 15 à 100 Hz.....	59
Tableau I.14 : Seuils de perception	65
Tableau I.15: Seuils de téτανisation	66
Tableau I.16 : Seuil de fibrillation ventriculaire	66
Tableau I.17: Seuils de brûlure	66
Tableau I.18: Domaine de tension	77
Tableau II.19. Domaine de tension	96
Tableau II.20 : Prescriptions générales	103
Tableau II .21. Distance Minimale d'Approche.....	106
Tableau II.22 : Classes Des Matériels Electriques	116

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

DEXIA SOFCAP assurance – personnels des collectivités locales

INRS institut national de recherche et de sécurité

TMS troubles musculosquelettiques.

ANSES agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail

CIRC Centre International de Recherche sur le

Cancer **CSST** Commission de la Santé et de la

Sécurité du Travail **RPS** Les risques

psychosociaux

CDD Contrat de travail à durée déterminée

CHSCT Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail

CPAM Caisse primaire d'assurance maladie

PID Piping and instrumentation diagram

INERIS Institut national de l'environnement industriel et des risques

EvRP Evaluation des Risques Professionnelles

VAT Vérificateur d'absence de tension

sans contact **MALT/CC** Mise a la Terre

et Mise en courant circuit **EPI**

Équipements de protection

individuelle

EPC Équipements de protection collectifs

TBT Très base tension

BT Base tension

HTA Haute tension A (moyenne tension)

HTB Haute tension B

BNITH Bureau de normalisation des industries textiles et de l'habillement

FFIE Fédération française des entreprises de génie électrique et énergétique

GIMELEC Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle commande et des services associés

ISFME Institut supérieur de formation aux métiers de l

énergie) **SERCE** Syndicat des entreprises de génie

électrique et climatique) **LRE** Locaux Réservés aux

Electriciens

IPS Instruction Permanente de Sécurité

Introduction Générale

Introduction générale

Le phénomène d'électricité tue chaque année des personnes. Bien que l'on connaisse l'électricité depuis l'antiquité, qui se matérialisait alors sous forme d'électricité statique, chaque année, on compte plusieurs milliers d'accidents d'origine électrique dans le monde du travail dont des centaines sont mortels.

Les activités industrielles comportent des risques qui peuvent provoqués des accidents ont des conséquences catastrophiques.

Certes, la découverte de l'énergie électrique à été parmi les principales causes de la révolution industrielle dans le monde, mais bien que bénéfique pour l'homme, qui a généralisé son emploi dans tous les domaines (depuis le foyer domestique jusqu'à la grande industrie, en passant par l'artisanat, de l'agriculture et le tertiaire) elle reste un risque potentiel d'accidents électriques qui se trouve alors partout présent.

Actuellement, les risques professionnels sont les points faibles de chaque milieu de travail, il est important de dresser et de mettre en place des outils et des moyens de prévention contre ces risques.

Les accidents de travail sont les concrétisations les plus répandues des risques professionnels. Ils sont nombreux et variés, certains sont bénins et sans conséquences. Par contre un nombre important d'entre eux est grave, voire mortel, ceci sans négliger l'impact financier, social et moral de ce phénomènes.

Les risques du courant électrique résident dans son caractère très particulier ; c'est un fluide invisible, incolore, inodore et insonore. Ses dangers sont dus à l'utilisation mal contrôlée et le non-respect des prescriptions et textes réglementaires. Ils proviennent de situations dangereuses, telle une défaillance de l'équipement ou de mises en contact accidentelles de parties du corps avec des conducteurs sous tension.

Ces contacts peuvent provoquer des commotions électriques qui peuvent être la cause de graves accidents pour les personnes engendrant des électrisations qui sont des réactions du corps dues à un contact accidentel avec l'électricité, des brûlures de contact et internes, des brûlures thermiques par arc électrique ou projection de métal en fusion, des électrocutions qui sont des électrisations qui débouchent sur une issue fatale, ou encore des explosions.

La prévention n'en demeure pas moins indispensable, notamment dans certains secteurs d'activité, plus particulièrement exposés aux risques, tels le bâtiment les travaux publics, l'industrie, l'exploitation, les travaux sur réseau et installations électriques. Cette prévention commence par les améliorations techniques apportées au matériel et aux installations en vue d'élever le niveau de sécurité

Pour mener à bien notre étude sur les risques électriques, notre travail comporte trois parties composées chacune des chapitres suivants :

⊗ Première Partie : production de l'énergie électrique et leur distribution (Quatre chapitres)

⊗ Deuxième Partie : les risques électriques (Un chapitre : les risques électriques)

⊗ Troisième Partie : la prévention contre les risques électriques (deux chapitres).

PREMIERE PARTIE
Production de l'énergie électrique

Chapitre I

Rappel sur les principales notions d'électricité

I-1. INTRODUCTION

L'électricité est un phénomène physique dû aux différentes charges électriques de la matière, se manifestant par une énergie. L'électricité désigne également la branche de la physique qui étudie les phénomènes électriques et leurs applications.

L'électricité est l'interaction de particules chargées sous l'action de la force électromagnétique. Ce phénomène physique est présent dans de nombreux contextes : l'électricité constitue aussi bien l'influx nerveux des êtres vivants que les éclairs d'un orage.

Pour les scientifiques, l'électricité est très liée au magnétisme, ils ont donc créé une discipline, l'électromagnétisme, qui regroupe l'étude des phénomènes électriques et magnétiques.

C'est au cours du XIX^e siècle que les propriétés de l'électricité ont commencé à être comprises. Sa maîtrise a permis l'avènement de la seconde révolution industrielle. Aujourd'hui l'énergie électrique est omniprésente dans les pays développés : A partir de différentes sources d'énergie (hydraulique, thermique, nucléaire, ...) l'électricité est de nos jours un vecteur énergétique employé à de très nombreux usages domestiques ou industriels [1].

Elle est largement utilisée par les sociétés développées pour transporter de grandes quantités d'énergie facilement utilisables.

Comme source d'énergie indispensable, l'électricité est utilisée dans les domaines les plus divers. Elle est, également, à l'origine de nouvelles technologies. Notre vie quotidienne est subordonnée à l'usage du courant électrique, que se soit simplement pour l'éclairage ou le fonctionnement de la plupart des appareils qu'ils soient ménagers, agricoles ou industriels.

L'électricité est devenue tellement familière que l'on en oublie les risques. Rares sont les personnes n'ayant pas subi une fois dans leur vie une légère décharge électrique dans les doigts, chez elles ou sur leur lieu de travail. Ce n'est généralement qu'une alerte mais qui doit inciter à la prudence car il existe des accidents plus graves.

L'électricité ne se voit pas, ne s'entend pas, n'a pas d'odeur mais entraîne chaque année des accidents graves par contact direct ou indirect avec des pièces nues sous tension. Le risque électrique en milieu de travail, s'il est mieux maîtrisé, reste toujours présent. Les statistiques prouvent la diminution du nombre d'accidents tout en soulignant leur exceptionnelle gravité. Le nombre d'accidents d'origine électrique est diminué par rapport aux années soixante dont 1/10 des accidents graves. Les accidents d'origine électrique sont dix fois plus mortels que l'ensemble des accidents de travail.

Quant à l'électricité dans la nature, les échanges électriques sont omniprésents. En général, il s'agit de phénomènes ni très visibles, ni évidents, mais ils sont fondamentaux ; les forces électromagnétiques et électrofaibles font partie des quatre interactions fondamentales qui structurent tout l'Univers.

I-2. HISTORIQUE

L'électricité existe depuis l'antiquité, elle se matérialisait sous forme d'électricité statique. Cette forme d'électricité était connue par ses dangereuses manifestations, non expliquée ! Tels que la foudre "colère des Dieux", le frottement électrostatique agaçant des vêtements, ou encore la magie de l'étincelle qui provoque l'explosion dans les vapeurs de poussière dans l'air.

Le philosophe et savant grec *Thaïs de Millet*, au VI^e siècle av. J. C. qui découvrit le phénomène d'électrisation : Il avait observé qu'un morceau d'ambre frotté énergiquement acquérait la propriété d'attirer de petits corps légers, telles des billes de moelle de sureau et, par la suite, la force mystérieuse qui se manifestait ainsi fut nommée « électricités » dans le latin scientifique du XVII^e siècle (d'après le mot grec électron, « ambre » et « électricité » en français).

On peut aisément reprendre l'expérience de Thalès en frottant, par exemple, un bâton de verre avec de la fourrure de chat ou de la laine. Le verre se charge alors positivement, des électrons qui lui appartiennent sont arrachés par la fourrure qui se charge négativement. Quand on approche le bâton de verre de petit objet léger, comme des bouts de papier, ceux-ci, par l'intermédiaire de leurs électrons périphériques sont attirés par le bâton de verre.

Le principe de base de la production d'électricité repose sur la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique. Le plus souvent, un fluide entraîne une turbine. Il a fallu des siècles aux inventeurs pour comprendre comment produire de l'électricité. Ils ont fait plein d'expériences et ont appris à la créer à partir des différentes sources d'énergie de la nature. [2] Ce n'est qu'en l'an 1800 que le savant italien Volta a découvert le moyen de produire un courant électrique. Il a inventé la première pile électrique, composée de disques d'argent et de cuivre séparés par du carton humide. [3]

Grâce à l'électricité, la vie quotidienne a alors beaucoup changé : Eclairage, chauffage, cuisson, on pouvait faire des choses si incroyables qu'on l'a appelée la Fée électricité. [4]

I-3. NATURE DE L'ELECTRICITE

Comme la masse, la charge électrique est une propriété de la matière à l'origine de certains phénomènes. Personne n'a jamais observé directement une charge électrique, mais en étudiant certaines particules : les électrons et les protons, les scientifiques ont remarqué que ces particules n'avaient pas les mêmes charges, et que bien souvent elle était opposées.

Des charges de nature opposées s'annulent ; la matière ordinaire, qui possède autant de protons que d'électrons, est donc électriquement neutre.

Contrairement à la masse, il existe deux types de charges électriques, qui se comportent comme si elles étaient " opposées " l'une à l'autre ; on les appelle donc par convention positive et négative. [5]



Deux charges de nature opposée s'attirent
repoussent



Deux charges de même nature se

FigureI-1 : Forces générées par deux atomes chargés.

I-4. ELECTRICITE STATIQUE / DYNAMIQUE

I-4-1. ELECTRICITE STATIQUE

Les atomes qui composent la matière sont faits d'électrons chargés négativement qui se déplacent autour d'un noyau composé de neutrons (électriquement neutres) et de protons chargés positivement. Le nombre d'électrons étant égal au nombre de protons, l'ensemble est électriquement neutre.

Quand on frotte certains matériaux entre eux, les électrons superficiels des atomes de l'un sont arrachés et récupérés par les atomes de l'autre. Par exemple une tige de verre frottée sur un tissu de soie se charge positivement, car ses atomes perdent des électrons au bénéfice de la soie ; Si on frotte un ballon de baudruche sur des cheveux secs, on le charge négativement, car il capte des électrons aux cheveux.

Une règle en plastique frottée sur des vêtements possède une charge négative. Elle peut alors attirer des petits morceaux de papier. La règle modifie, par induction électrostatique, la répartition des charges dans le papier : les charges négatives de la règle repoussent les charges négatives à l'autre extrémité du morceau de papier et attirent les charges positives des atomes de papier.

On parle d'électricité statique, car les charges électriques ne peuvent pas circuler : elles sont piégées dans des matériaux isolants : (le plastique, le verre, le papier..) qui résistent à la circulation des charges. Il est toutefois possible de leur associer un courant électrique (détectable directement ou par le champ magnétique qu'il crée) en mettant en mouvement le matériau chargé. [6]

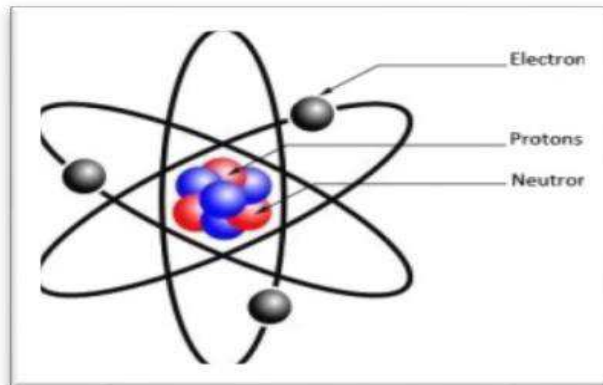


Figure I.2 : Noyau d'atome.

Dangers liés à l'électricité statique

Si les charges formées à la surface d'un matériau ne peuvent pas s'écouler à la terre ou ne s'écoulent pas suffisamment vite, elles continuent à s'accumuler et peuvent atteindre un niveau tel qu'elles provoquent une décharge électrique (par étincelles par exemple). Si cela se produit dans une atmosphère explosive, elles peuvent être à l'origine d'une inflammation. L'électricité statique peut provoquer des accidents aux conséquences désastreuses, en particulier les incendies et explosions. Ces accidents sont à l'origine de blessures, souvent graves (brûlures), de décès ainsi que de dégâts matériels souvent importants (extension d'incendies à des installations avoisinantes...).

Elle peut également avoir des effets physiologiques sur l'homme. Étant données les faibles énergies mises en jeu, une décharge électrostatique n'est pas dangereuse en soi pour une personne mais peut être pénible par sa répétition. Cependant, dans certaines circonstances (présence d'un générateur de charge isolé, présence de pulvérulent en mouvement ...) la décharge très énergétique peut avoir des effets physiologiques néfastes (brûlures) et avoir des conséquences graves si elle est à l'origine de chutes par exemple. La Marche sur le sol et les frottements sur les sièges sont 2 des principales sources d'électricité statique.

En milieu explosif, des réactions d'oxydation exothermiques violentes, entraînant un transfert énergétique dans l'atmosphère, peuvent être déclenchées par :

- Des flames;
- Des étincelles électriques;
- Des étincelles de radiofréquence à proximité d'une source radio de haute intensité ;
- Des étincelles produites par des collisions (par exemple, entre du métal et du béton);
- Des discharges' électrostatiques.

Pour prévenir les risques liés à l'électricité statique, il faut :

- Identifier les charges électrostatiques susceptibles de se produire ;
- Éviter les sols et les revêtements de sols isolants ;
- Rendre équipotentiel et mettre à la terre tous les éléments conducteurs ;
- Utiliser des éliminateurs inductifs ou électriques ;
- Utiliser du matériel ou des équipements antistatiques ainsi que des EPI antistatiques

I-4-2. ELECTRICITE DYNAMIQUE

L'électricité est dynamique lorsque les charges électriques (les électrons) sont en mouvement (continu ou alternatif) dans un conducteur. Selon la théorie atomique, les électrons sont en orbites autour du noyau (contenant les protons et les neutrons). Sous l'effet d'une force externe (par exemple la force électromagnétique d'un aimant), les électrons les plus éloignés du noyau peuvent se libérer de leur orbite pour sauter sur l'orbite d'un autre atome. On appelle ces électrons des électrons libres. Les électrons libres sont donc une charge en mouvement qui engendre l'énergie électrique. L'électricité dynamique est celle qu'on utilise tous les jours pour alimenter en énergie les appareils électriques du quotidien. [7]

Alors c'est quoi le courant électrique ? Pourquoi est-il dangereux ? Quels sont ses dangers pour la santé humaine ?

I-5. COURANT ELECTRIQUE

Le **courant électrique** est un phénomène physique provoqué par le déplacement d'électrons ou ions porteurs de champs **électriques**. Par convention, on considère que le **courant** est un flux de charges positives. L'intensité du **courant** est la quantité de charge qui passe dans un conducteur par unité de temps (**Figure I.3**).

Le courant électrique = Electricité dynamique

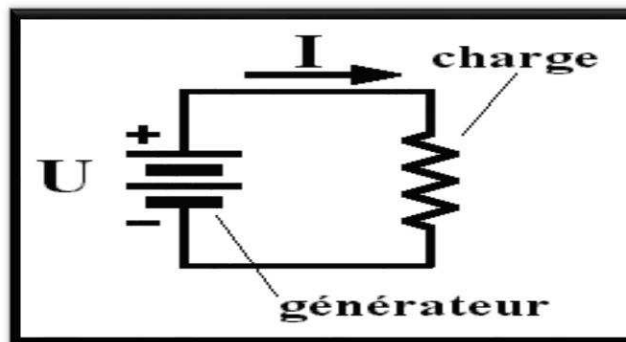


Figure I.3 : Déplacement des charges du courant électrique.

Pour faire circuler le courant, il faut un circuit électrique. *Un circuit électrique* est un ensemble ordonné de dipôles reliés entre eux et parcouru par un **courant électrique**. Le terme dipôle désigne tous les composants électriques qui possèdent au moins deux bornes de connexion : une pour l'arrivée de courant ou borne positive et une autre pour la sortie du courant ou borne négative. Pour être viable, un **circuit électrique** doit comporter au moins un **générateur** (élément qui produit le courant électrique), des connecteurs ou conducteurs (éléments qui transportent le courant électrique), au moins un **interrupteur** (élément qui allume ou éteint le circuit électrique) ainsi qu'un ou plusieurs dipôles récepteurs (éléments qui consomment le courant électrique). Dans un **circuit électrique**, les dipôles peuvent être branchés en série ou en dérivation. Il existe aussi plusieurs **types de circuits électriques** en fonction du niveau d'application (à la maison, dans une usine...). [8]

Il existe *trois types* de circuits : Circuit en série, circuit en parallèle et circuit mixte.

Circuit en Série : Dans un circuit en série, tous les dipôles sont branchés les uns à la suite des autres. ... (Figure I.4)

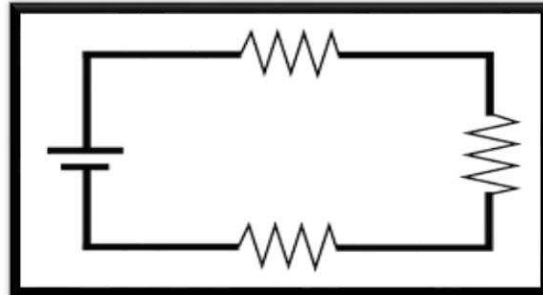


Figure I.4 : Circuit en série.

Circuit en parallèle : UN circuit en parallèle est un montage électrique dans lequel les appareils sont placés parallèlement les uns aux autres. Le courant peut revenir à la source par plusieurs chemins différents (Figure I.5).

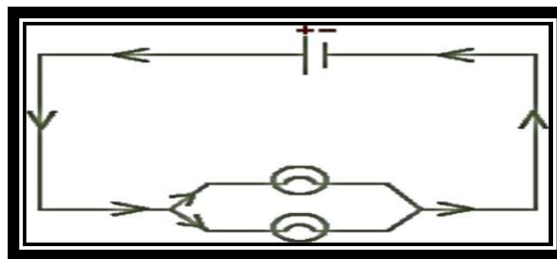


Figure I.5 : Circuit en parallèle.

Circuit mixte : les circuits mixtes peuvent posséder des configurations différentes. Par le fait même, la résolution de problèmes portant sur les circuits mixtes ne comporte pas de solution préétablie. Selon le circuit, il faut procéder de façon différente (Figure I.6).

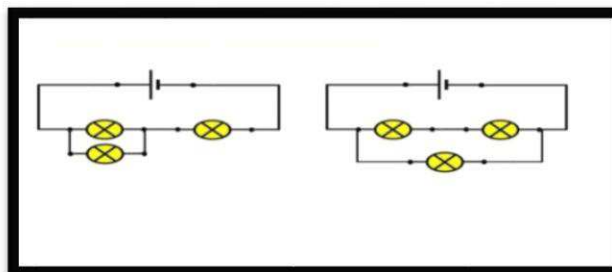


Figure I.6 : Circuit mixte.

IL existe *deux types* de courant électrique:

Courant alternatif et courant continu : quelles sont les différences ?

Courant continu : le flux des électrons s'écoule toujours dans le même sens, de la borne négative vers la borne positive. ...

Courant alternatif : les électrons circulent de façon alternative dans les deux sens du circuit

I-6. GRANDEURS ELECTRIQUES

I-6-1. INTENSITE DU COURANT ELECTRIQUE

C'est quoi l'intensité du courant ?

L'ampère ou l'intensité électrique

L'ampère (A) est l'unité de mesure de l'intensité d'un courant électrique, c'est-à-dire le flux d'électrons dans un conducteur. C'est André-Marie Ampère, l'inventeur de l'électro-aimant, qui a donné son nom à cette unité.

Quel est la formule de l'intensité du courant ?

Le calcul du courant se fait avec deux éléments : la tension et la valeur de la résistance. Courant (A) = tension (V) / résistance (Ohm) ce qui donne la formule $I = U/R$

Pourquoi intensité du courant ?

L'intensité du courant, ou ampérage, correspond à la quantité de charges qui circulent à un point précis du circuit électrique à chaque seconde. L'intensité du courant permet de mesurer la vitesse à laquelle les électrons circulent à un endroit précis du circuit électrique.[6]

I-6-2. RESISTANCE DU COURANT

C'est quoi la résistance en électricité ?

La résistance est une mesure de l'opposition appliquée au courant dans un circuit électrique. La résistance est mesurée en ohms, dont l'unité est symbolisée par la lettre grecque oméga (Ω) (**Figure I.7**).

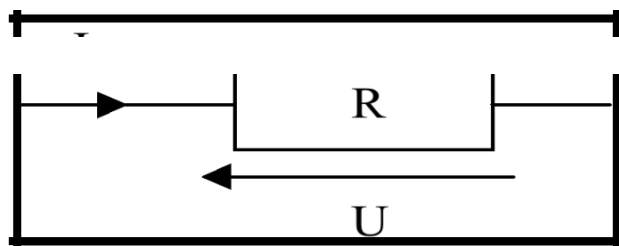


Figure I.7 : Symbole d'une résistance.

Quel est le rôle de la résistance ?

La résistance est un dipôle qui joue un rôle de protection sur les autres dipôles d'un circuit qui

ne résistent pas à un surplus d'intensité. Plus la valeur d'une résistance est élevée, plus l'intensité du courant est faible.

Qu'est-ce que la loi d'Ohm ?

La loi d'Ohm est une formule utilisée pour calculer la relation entre la tension, l'intensité et la résistance dans un circuit électrique.

$$E = I \times R.$$

Cette formule signifie Tension = Courant x Résistance ou $V = A \times \Omega$.

I-6-3. TENSION / PUISSANCE / ENERGIE

I-6-3-1. TENSION

La tension électrique est la circulation du champ électrique le long d'un circuit électrique mesurée en volts par un voltmètre. Elle est notée V aux bornes d'un dipôle.

La notion de tension électrique est souvent confondue avec celle de la « différence de potentiel électrique » (DDP) entre deux points d'un circuit électrique. Les deux notions sont équivalentes en régime stationnaire (indépendant du temps). Néanmoins, dans un cas général, en régime variable (par exemple : les courants alternatifs), la circulation du champ électrique n'étant plus conservative en raison du phénomène d'induction électromagnétique, la tension et la différence de potentiel ne sont alors plus synonymes. Dans ce cas général, la différence de potentiel perd sa signification physique et doit être remplacée par la notion de tension

La notion de tension électrique est aussi désignée par l'anglicisme : « voltage », comme il est possible de trouver l'expression « ampérage » pour désigner l'intensité électrique. Cependant, ces termes sont considérés comme incorrects même si certains les considèrent équivalents

De manière plus générale, l'existence d'une tension dans un circuit électrique constitué d'éléments de résistance non nulle, est la preuve de l'existence dans ce circuit d'un générateur électrique entretenant une tension à ses bornes.

I-6-3-2. PUISSANCE

La puissance est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. C'est donc une grandeur scalaire. La puissance correspond ainsi à un débit d'énergie : si deux systèmes de puissances différentes fournissent le même travail, le plus puissant des deux est celui qui est le plus rapide.

D'une façon générale, l'intégrale de la puissance fournie pendant une durée τ représente l'énergie totale fournie

La puissance électrique notée « P » se mesure en «Watt », à l'aide d'un « Wattmètre »[9].

I-6-3-3. ENERGIE ELECTRIQUE

L'énergie électrique n'est pas une énergie primaire puisqu'il faut une autre énergie en amont pour la produire.

L'énergie électrique peut être produite par le nucléaire (centrales nucléaires) ou part des centrales thermiques utilisant des énergies fossiles comme le gaz ou le fioul. L'électricité peut être

produite par les **énergies renouvelables** comme l'hydro-accumulation produisant de l'électricité à partir des barrages. Ou comme le photovoltaïque, produit à partir de panneaux PV ou capteurs solaires photovoltaïques. L'énergie est utilisée directement pour produire de la lumière ou de la chaleur, via des émetteurs comme le convecteur ou le plancher chauffant électrique. Ou bien via une pompe à chaleur utilisant des sources d'énergies gratuites comme l'air ou le sol (chauffage géothermie).

L'énergie électrique peut être produite également à partir de turbines ou Co générateurs, ou de piles à combustible.

L'unité de mesure de l'énergie électrique est le Watt/heure (symbole Wh) qui représente l'énergie consommée par un appareil de puissance 1 watt fonctionnant pendant 1 heure; (1 Wh = 3600 Plus couramment, on utilise le kilowattheure (KWh).1 Watt équivaut à 1J/s ou à 1 V.A, le joule étant l'unité de mesure universelle de l'énergie.[6].

Dans le bâtiment, l'électricité se distingue en 2 lots, les courants forts (force, commande, tableau électrique, câbles de puissance, prises et autres appareillages) et les courants faibles (télésurveillance, GTB, domotique, détection incendie, alarmes techniques, téléphone, informatique et réseaux VDI.

1 Watt équivaut à 1J/s ou à 1 V.A, le joule étant l'unité de mesure universelle de l'énergie

1-6-4. CHAMP ELECTRIQUE

En physique, on désigne par champ électrique un champ créé par des particules électriquement chargées. Un tel champ permet de déterminer en tout point de l'espace la force électrique exercée à distance par ces charges. Dans le cas de charges fixes dans le référentiel d'étude, le champ électrique est appelé champ électrostatique. Lorsque les charges sont en mouvement dans ce référentiel, il faut y ajouter un champ électrique induit dû aux déplacements des charges pour obtenir le champ électrique complet.



FigureI-8 : Les lignes à haute tension véhiculent l'électricité.

Le champ électrique est le champ vectoriel qui résulterait de l'action à distance de particules électriquement chargées sur une particule test de charge unité au repos dans le référentiel d'étude. C'est donc la force subie par la particule au repos divisée par la charge de cette particule. Il s'agit d'un champ vectoriel qui à tout point de l'espace associe une direction, un sens, et une

grandeur (amplitude). La norme de ce vecteur s'exprime en volt par mètre (V/m) ou en newton par coulomb (N/C) dans le système international d'unités.

La portée du champ électrique est théoriquement infinie, ses valeurs en tout point dépendant de la distribution de charges ou de la nature des matériaux remplissant l'espace. Noté généralement par \vec{E} , sa propagation est régie par les équations de Maxwell. Historiquement il fut introduit au milieu du XIX^e siècle par Michael Faraday pour expliquer dans ses expériences certaines actions à distance, cette interaction est aujourd'hui reconnue comme portée par le photon.

Lorsque les particules chargées qui créent le champ sont en mouvement dans le référentiel d'étude il convient d'ajouter au champ électrostatique un champ électrique induit E_i dû au mouvement de ces charges. Ce champ électrique induit est directement relié au champ magnétique B créé par ces charges en mouvement par l'intermédiaire du potentiel vecteur A . [7]

I-6-5 CONDUCTIBILITE ELECTRIQUE

La conductivité électrique est un phénomène physique qui consiste à laisser passer librement les charges électriques dans un corps, solide ou liquide. Il s'oppose à la résistivité, qui ralentit le courant en lui résistant.

Les capacités de conductivité électrique sont propres à chaque matériau. Certains laissent mieux passer le courant électrique que d'autres, ils sont alors considérés comme de très bons, voire d'excellents conducteurs.

La conductivité électrique est définie en siemens par mètre (S.m-1). Il s'agit du rapport de la densité de courant par l'amplitude du champ électrique. On mesure la conductivité électrique avec un conductimètre.

La conductivité électrique est désignée par la lettre sigma : σ . D'un type de matériau à un autre, la conductivité électrique peut aller de 10^8 S.m-1 à 10^{-22} S.m-1. Plus elle est élevée, plus le courant est libre de passer et plus elle est intéressante.

C'est la loi de Nernst-Einstein qui permet un calcul précis de la conductivité électrique d'un matériau, qu'il soit sous forme liquide ou solide. [8]

Pour estimer la conductivité électrique, il faut donc se renseigner sur :

- D : le coefficient de diffusion du matériau
- z : le nombre de charges portées par le matériau
- e : la charge élémentaire
- c : la concentration du matériau
- k : la constante de Boltzmann (environ égale à $1,3806 \times 10^{-23}$ J.K-1)
- T : la température absolue

Les métaux

De nombreux métaux offrent une bonne conductivité électrique. Plus leur capacité à conduire l'électricité est élevée, plus ils sont intéressants et privilégiés dans l'industrie. Parmi les meilleurs métaux conducteurs d'électricité, on trouve :

- Le cuivre
- L'argent
- L'aluminium
- L'or
- Lemercurie

Dans les métaux cités, les porteurs de charges permettant la conductivité électrique sont des électrons libres. Ces derniers circulent librement et de façon désordonnée à l'intérieur du métal. Ce déplacement non contrôlé est un phénomène naturel.

I-7. RECEPTEURS

On appelle récepteur tout dispositif capable de transformer de l'énergie électrique en une autre forme d'énergie (mécanique - moteurs, chimique - cuve à électrolyse, ..). Comme pour les autres dipôles, on distingue les récepteurs passifs, dont la caractéristique passe par l'origine, et les récepteurs actifs, pour

Les quels la tension aux bornes n'est pas nulle en l'absence de courant. [9]



Figure I.9. Récepteurs électrique.

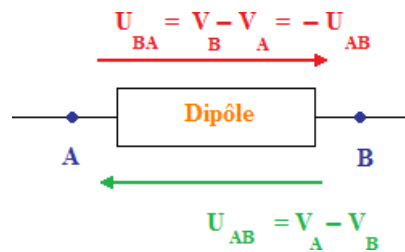
Un récepteur est un convertisseur d'énergie qui consomme de l'énergie électrique et la transforme en une ou plusieurs autres formes d'énergies (mécanique, thermique, chimique, ..Etc.) (Figure I.9).

Pratiquement, un récepteur est un dipôle qui, hors circuit, ne présente aucune tension à ses bornes.

UN dipôle est un système électrique relié à l'extérieur par deux bornes. Son état électrique est caractérisé par la différence de potentiel à ses bornes et l'intensité du courant qui le traverse.

➤ **Convention orientation**

- **Du courant :** Si « **I** » circule dans le sens de l'orientation : **I > 0** Sinon, **I < 0**.
- **De la tension:**



- **Convention orientation d'un recapture**



Si la tension « U » aux bornes d'un récepteur et l'intensité du courant « I » le traversant sont de sens contraires, alors le dipôle est en *convention récepteur*.

➤ **Caractéristiques d'un récepteur**

Il s'agit de la représentation graphique de la tension « U » aux bornes d'un récepteur en fonction de l'intensité « I » du courant qui le traverse : C'est la courbe qui caractérise le fonctionnement du dipôle.

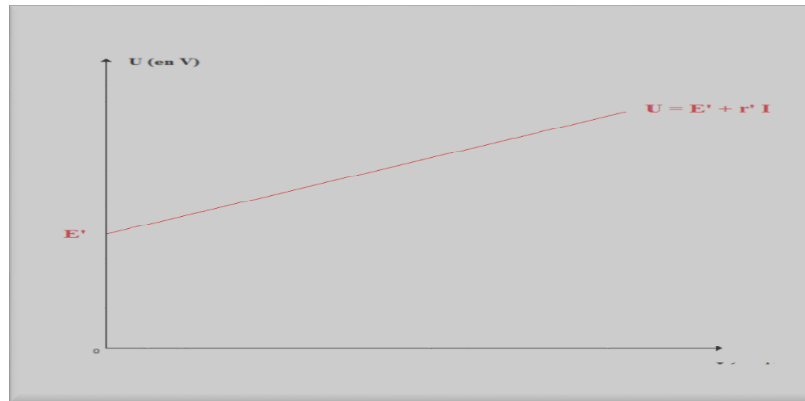


Figure I.10: Représentation graphique de « U » aux bornes d'un récepteur en fonction de « I »

- « E' » est une tension particulière du récepteur : C'est une tension à partir de laquelle le récepteur laisse passer le courant. On l'appelle *force contre-électromotrice* «*F.c.é.m.* ». Elle est notée chez les récepteurs « E' » et son unité est le « *volt* ».
- Le coefficient directeur de la droite est égal à la résistance interne du récepteur. Elle est notée « r' » et son unité est l'*ohm*. Le *dipôle* est dit *actif*.

I-8. CONCLUSION

L'électricité, définie par sa tension, son intensité et sa puissance représentant un tiers de l'énergie consommée au monde, peuvent être générée, transportée et stockée.

Aujourd'hui, cette électricité est produite par des centrales électriques, transportée et distribuée aux consommateurs. Comme le feu du temps des hommes préhistoriques, l'électricité a changé la vie de l'humanité. Elle est devenue indispensable à tout ce qui fait notre vie quotidienne : Se nourrir, se chauffer, s'éclairer, se laver, soigner, communiquer, se déplacer, fabriquer...

Chapitre II

Production de l'énergie électrique

II-1. INTRODUCTION :

En 1993, la production mondiale d'électricité était de 12 300 milliards de kWh (Organisation des Nations Unies (ONU), 1995), 1 kWh correspondant à la quantité d'électricité nécessaire pour éclairer 10 ampoules de 100 W pendant une heure. Les Etats-Unis ont produit à eux seuls 25% de l'énergie totale. La production américaine, qui comprend des entreprises publiques et privées, s'est en effet élevée à 3 100 milliards de kWh en 1993 ; elle provenait de plus de 10 000 centrales (US Département of énergie, 1995). La fraction de cette industrie, qui est détenue par des investisseurs privés, emploie 430 000 personnes dans l'exploitation et la maintenance et enregistre des gains annuels de l'ordre de 200 milliards de dollars.

L'électricité est produite dans des centrales qui utilisent des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel ou charbon) ou qui font appel à l'énergie nucléaire ou à l'énergie hydraulique. En 1990, par exemple, 75% de l'énergie électrique produite en France provenait de centrales nucléaires. En 1993, 62% de l'électricité produite dans le monde provenait des combustibles fossiles, 19% de l'énergie hydraulique et 18% de l'énergie nucléaire. Les autres sources d'énergie renouvelables comme le vent, l'énergie solaire, l'énergie géothermique ou la biomasse ne représentent qu'une faible proportion de la production mondiale d'électricité. A la sortie des centrales, le courant électrique est transmis par des réseaux interconnectés à des systèmes de distribution locaux et, à partir de ceux-ci, aux consommateurs.

En règle générale, le personnel qui permet d'assurer toutes ces activités est à dominante masculine et possède un niveau élevé de qualification et de connaissances techniques. Il exerce des tâches très diverses qui ont de nombreux éléments communs avec les secteurs du génie civil, des industries de transformation, des transports et des télécommunications. Certaines de ces opérations seront traitées dans les articles qui suivent. Il sera également fait mention des principales dispositions de sécurité en vigueur aux Etats-Unis dans le domaine de la production et de la distribution d'énergie électrique.

II-2. DEFINITIONS

La production de l'énergie électrique consiste en la transformation de l'ensemble des énergies primaires en énergie électrique.

Une centrale électrique : est un site industriel destiné à la production d'électricité. Elle transforme diverses sources d'énergie primaire en énergie électrique en établissant des chaînes énergétiques.

Tranche de production : Elle correspond à l'unité de production standard d'une centrale électrique. On parle généralement de tranche pour qualifier les unités de production des centrales nucléaires ou des centrales thermiques, qui peuvent contenir plusieurs tranches sur un même site.

Moyen de production « dispatchée » : Ce terme désigne un moyen de production d'énergie considéré comme flexible vis-à-vis du gestionnaire de réseau. Les moyens de production « dispatchés » peuvent notamment réagir de manière commandée à une sollicitation du gestionnaire de réseau en injectant à la hausse ou à la baisse, ceci dans un temps imparti

Moyens de production centralisé et décentralisé : Les termes centralisé et décentralisé rendent compte du niveau de dissémination d'un parc de production d'énergie. Sans qu'il y ait de

distinction univoque entre les deux catégories, on parlera de moyens centralisés lorsque la production énergétique est concentrée en quelques points du réseau (centrales nucléaires, centrale thermique à flamme, etc.) et de moyens décentralisés lorsqu'il existe une multitude de points d'injection avec des systèmes de tailles unitaires réduites (éolienne, panneau solaire, etc.).

II-3. Organisation du réseau électrique

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques...etc. avec les centres de consommation (villes, usines...etc.). L'énergie électrique est transportée en haute tension et/ou très haute tension pour limiter les pertes à effet Joule (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité du courant électrique), puis progressivement abaissées au niveau de la tension de l'utilisateur final. Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis les centrales de génération jusqu'aux maisons de campagne les plus éloignées (Figure II.11).

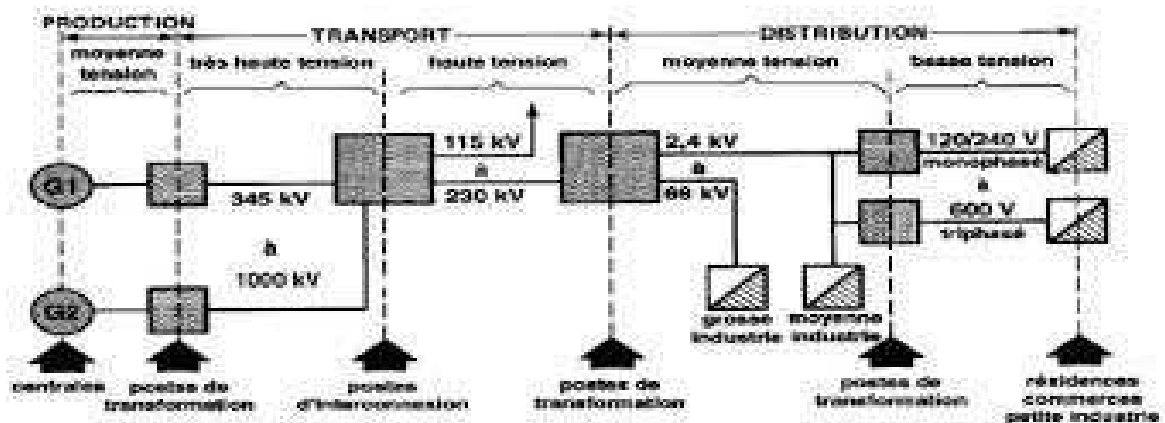


Figure II.11 : Architecture d'un réseau électrique.

Pour que l'énergie électrique soit utilisable, le réseau doit satisfaire les exigences suivantes :

- Assurer au client la puissance dont il a besoin ;
- Fournir une tension stable dont les variations n'excèdent pas $\pm 10\%$ de la tension nominale ;
- Fournir une fréquence stable dont les variations n'excèdent pas $\pm 0,1\%$ Hz ;
- Fournir l'énergie à un prix acceptable ;
- Maintenir les normes de sécurité rigoureuses ;
- Veillez à la protection de l'environnement ;

II.3.1 Centrales thermiques

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. On les trouve souvent près des rivières, lac et mer, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur). On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière.[11]

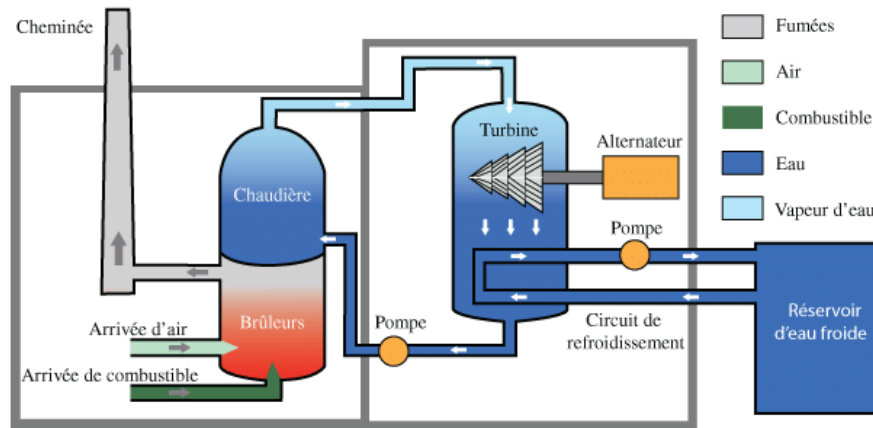


Figure II.12 : centrale thermique

II.3.2. Centrales nucléaires

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire (figure II.11). L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident.

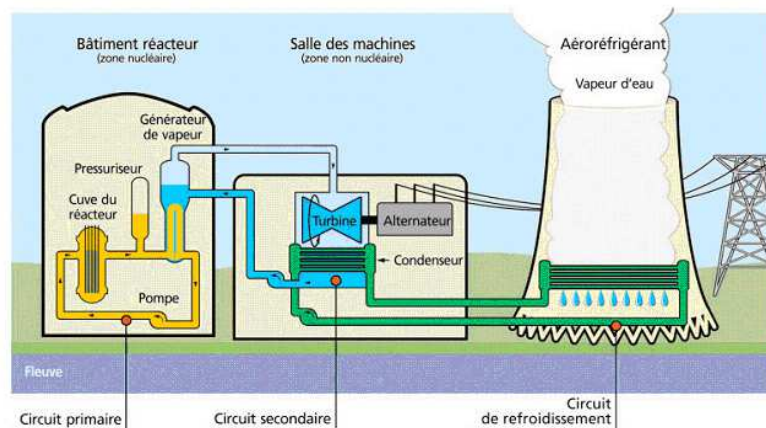


Figure II.13 : Schéma de centrale nucléaire.

II.3.3. Centrales hydroélectriques

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

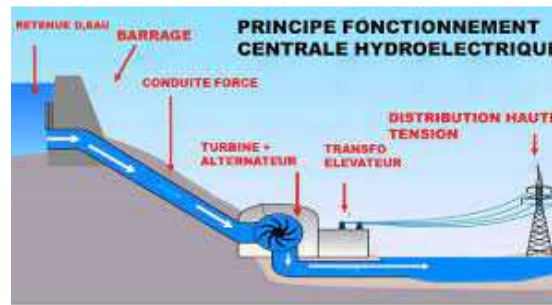


Figure II.14 : Comment produire l'énergie électrique.

II.3.4. Centrales solaires ou photovoltaïques

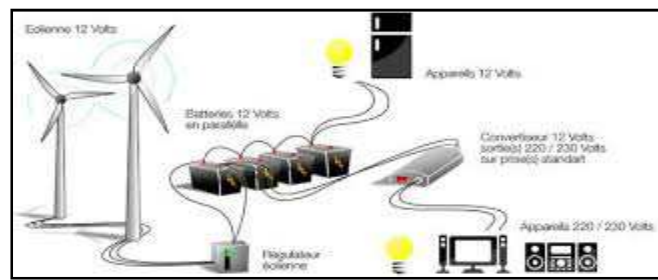
Un premier processus consiste à fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire en utilisant les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux (figure I.15). Un autre procédé utilise des miroirs pour concentrer le flux d'énergie vers un foyer où de l'eau est vaporisée pour entraîner un alternateur.



Figure II.15 : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque.

II.3.5. Centrales éoliennes

L'énergie du vent provient de celle du soleil qui chauffe inégalement les masses d'air, provoquant des différences de pression atmosphérique et donc des mouvements de circulation de l'air. L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, disponible partout (en quantités différentes) et bien sûr sans rejet polluant dans l'atmosphère. L'éolienne transforme la puissance de translation du vent en puissance de rotation (Figure II.16). Un alternateur est mécaniquement couplé à l'axe des pales (rotor) pour produire les tensions triphasées. Un dispositif de régulation permet d'obtenir une vitesse de rotation constante compatible avec la fréquence du réseau (50Hz),[11]



FigureII.16 : schéma de principe d'une production éolienne.

Chapitre III

Production de l'énergie électrique en Algérie

III.1.INTRODUCTION :

Dès son indépendance, en 1962, l'Algérie avait opté pour le développement du secteur de l'énergie, dans le cadre d'une politique nationale visant le développement des infrastructures électriques. Cette politique prévoit l'accès de la population à l'électricité comme une priorité absolue pour l'amélioration de la qualité de vie du citoyen et de la situation économique du pays. La charte nationale en 1976, annonça la volonté de généralisation de l'électrification des ménagers à travers tout le territoire national. Ces dernières années, la demande en électricité a connu une évolution importante et particulièrement en périodes estivale, atteignant des pics de consommation importants. Cette forte augmentation de la demande est une conséquence directe du changement des habitudes du consommateur et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel. Conscient de cet enjeu et de l'importance de l'accès à l'électricité pour les citoyens, le secteur s'est fixé comme priorité de développer tous les axes permettant de garantir la couverture à long terme, des besoins en électricité du pays, notamment par la diversification des sources d'énergie, le développement du parc de production électrique et des infrastructures de transport et de distribution de l'électricité.

L'entreprise SONELGAZ en tant qu'entreprise publique au terme du monopole conféré par l'Etat, assumait seule la mission de service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du gaz. La promulgation de la nouvelle loi n° 02-01 du 05 février 2002 a donné le coup d'envoi pour la réorganisation du secteur et l'ouverture du marché électrique à la concurrence, elle a également permis la réorganisation de Sonelgaz qui s'est achevée en 2011, avec la création de la société holding « Sonelgaz » ainsi que l'ensemble de ses sociétés filiales. Sonelgaz est aujourd'hui érigé en Groupe industriel composé de 39 filiales et 5 sociétés en participation. Des filiales métiers sont chargés des activités de production de l'électricité, de transport et de la distribution de l'électricité et du gaz.

III.2. HISTORIQUE DE LA SOCIETE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE « SPE » :

1910 : La mise en service de la première centrale hydraulique d'une puissance de 4.2MW au fil de l'eau dans les gorges du Rhumele à Constantine.

1913 : Intégration de la filière thermique vapeur - TV dans le parc de production par la mise en service de la première centrale thermique à vapeur fonctionnant au charbon d'une puissance installée de 22MW à Mers El Kebir, Oran .

1914 – 1920 : Développement important de la filière TV fonctionnant au charbon avec la mise en service de 3 ouvrages } Centrale El Hamma d'une puissance installée de 64MW } Centrale d'Alger port d'une puissance installée de 34MW.

Centrale d'Annaba d'une puissance installée de 58MW 1950-1963 :

Développement important de la filière Hydraulique TH avec la mise en service de 9 ouvrages totalisant une puissance globale de 208MW.

1960 : Intégration de la filière Turbine à Gaz par la mise en service de la première turbine à gaz TG en Algérie (Haoud El Hamra) d'une puissance installée de 22MW.

1962 : La production de l'Electricité était assurée par la compagnie de l'Electricité Gaz d'Algérie, la puissance installée était de 548MW.

1969 : Création de la Sonelgaz par l'ordonnance N°6959 juillet 1969, l'activité de la production de l'Electricité été intégrée dans cette dernière.

1970-1979 : Développement important du parc de production avec une production à base de turbines à vapeur.

1980-1995 : Introduction des paliers 100MW pour les TG et paliers 169-196MW pour les TV.

1995 : Introduction des paliers TG supérieur à 100MW jusqu'à 215MW.

2002 : Promulgation de la loi sur l'électricité N°02-01 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisation.

Janvier 2004 : La direction de la production de l'électricité (DPE), Direction au sein de la société Sonelgaz devient la Société de Production de l'Electricité SPE, filiale issue de la Restructuration de Sonelgaz, au capitale de 35 milliards de dinars, dont le siège sociale est sis, immeuble des 700 bureaux, route nationale n°38 Gué de Constantine, Alger.

2009 : Changement de dénomination : Société Algérienne de Production de l'Electricité dénommée par abréviation SPE.

2010-2013 : Un rajeunissement du parc de production avec la mise en service successives, de six (06) nouvelles centrales Turbine à Gaz d'une capacité totale de 2000MW. SPE a donné naissance en avril 2013 à une autre filiale de production d'électricité par scission dénommée SKTM.

2014 Horizons 2017 : Introduction du cycle combiné dans le parc de production de SPE, Une technologie aux normes d'efficacité énergétique et du respect de l'environnement.[10]

III.3. LA PRODUCTION D'ELECTRICITE EN ALGERIE

Les impératifs de préservation de l'environnement imposent l'utilisation du gaz naturel comme énergie primaire pour la production d'électricité, par rapport aux autres énergies fossiles jugées polluantes, sachant que la ressource du gaz est largement disponible en Algérie. Mais la préoccupation environnementale exige aussi de développer d'autres énergies dites propres et renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne, dont les gisements sont disponibles et abondants au sud du pays. Les perspectives de relance de l'économie se traduiront également par un impact certain sur le plan socio-économique et par conséquent, une augmentation notable de la consommation d'électricité, notamment en saison estivale. Les perspectives de relance de l'économie se traduiront également par un impact certain sur le plan socio-économique et par conséquent, une augmentation notable de la consommation d'électricité, notamment en saison estivale. Aussi, pour répondre à ce besoin en électricité sans cesse croissant, un programme ambitieux a été engagé pour le dédoublement des capacités de production conventionnelle. [10]

III.4. PRINCIPAUX PRODUCTEURS D'ELECTRICITE EN ALGERIE

Le parc de production national est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE), et des sociétés en partenariat, à savoir:) Kahrama Arzew mise en service fin 2005 ;) Shariket Kahraba Skikda « SKS » mise en service en 2006 ;) Shariket Kahraba Berrouaghia « SKB » (Médéa) mise en service en 2007;) Shariket Kahraba Hadjret Ennousse « SKH » mise en service en 2009.) Shariket Kahraba Terga « SKT » mise en service en 2012 ;) Shariket Kahraba Koudiet Edraouch « SKD » mise en service en 2013.[10]

III. 5. CAPACITE DE PRODUCTION ET POTENTIALITES EN ENERGIE ELECTRIQUE

III.5.1 CENTRALES DE PRODUCTION NATIONALE SPE

Le tableau suivant résume les centrales qui composent le parc de production national de l'énergie électrique, un parc dominé par le cycle combiné avec cinq (5) centrales.

D'une puissance totale de 5007 MW représentant un pourcentage de 35.87%, elles sont suivies par seize (16) centrales à gaz d'un totale de 4701 MW, avec un pourcentage de 33.67%, et puis neuf (9) centrales à vapeur qui produisent un total de 3833 MW (27.46%), viendront ensuite treize (13) centrales hydrauliques avec un total de 269.208 MW soit 1.93%, et enfin 150 MW de la puissance totale nette est produite par la nouvelle centrale hybride de Hassi R'Mel qui représente 1.07% de la production totale .

Tableau III.1 : Centrales qui compose le parc de production de l'énergie électrique.

Région	Localité	Type	Puis. (MW)	Région	Localité	Type	Puis. (MW)
ALGER	ALGER PORT	TG FIXE	2x36	El oued	EL OUED	TG MOBILE	8x23
	HAMMA 2	TG FIXE	2x209	Laghouat	TIGHENT 1	TG FIXE	2x100
	BAB EZZOUAR	TG FIXE	4x27		TIGHENT 3	TG FIXE	3x197
	HAMMA	TG MOBILE	2x24	Hassi R'Mel	H.RNORD	TG FIXE	4x22
	SABLETTE	TG MOBILE	2x25	GHardaia	GHARDAIA	TG FIXE	2x8.5
	BARAKI	TG MOBILE	3x24	Béchar	Béchar	TG FIXE	4x6
Blida	LARBAA	TG FIXE	4x140	Adrar	ADRAR	TG FIXE	3x15+2x20+4x25
	BOUFARIK 1	TG FIXE	4x24		ADRAR	TG MOBILE	2x23
	BOUFARIK 2	TG FIXE	3x235		KABERTENE	TG MOBILE	2x23
	BOUFARIK 3	TG MOBILE	2x24		Z.KOUNTA	TG MOBILE	4x23+4x25
	BENI MERED	TG MOBILE	2x24		TIMIMOUN	TG MOBILE	2x23+2x25
Tipaza	AHMER EL AIN	TG MOBILE	3x24	Ouargla	H.M.NORD 1	TG FIXE	5x24
Boumerdes	RAS DJINET	TV	4x168		H.M.NORD 2	TG FIXE	2x100
Bejaia	AMIZOUR	TG MOBILE	8x23		H.M.NORD 3	TG FIXE	3x220
	IGHIL EMDA	TH	2x12		H.M.S	TG FIXE	2x16+2x20
	DARGUINAH	TH			H.M.ouest	TG FIXE	4x123
Oran	MARSAT TV	TV	5x168		H.M.Ouest	TG MOBILE	4x23
	RAVIN BLANC	TV	1x73		OUARGLA	TG MOBILE	4x24
	ORAN EST	TG FIXE	2x40	Tamanrasset	IN SALAH ANCENNE CENTRALE	TG FIXE	2x3.5
	MARSAT	TG FIXE	8x23		IN SALAH NOUVELLE CENTRALE	TG FIXE	4x23
Relizane	RELIZANE	TG FIXE	3x155	Biskra	OUMACHE 2	TG FIXE	457
Tiaret	TIARET 1	TG FIXE	4x30	Khenchela	LABREG	TG FIXE	3x140
	TIARET 2	TG FIX	3x100		M'SILA	M'SILA1	TG FIXE
Naama	NAAMA	TG FIXE	8x23	M'SILA2		TG FIXE	3x100
JIJEL	JIJEL	TV	3x196	M'SILA3		TG FIXE	2x215
	ERRAGUENE	TH	1x14.4	M'SILA4		TG MOBILE	12x24

	MANOURIAH	TH	2x50		AIN DJASSER 1	TG FIXE	2x126
Annaba	ANNABA	TG FIXE	2x36	Batna	AIN DJASSER 2	TG FIXE	2x132
Skikda	SKIKDA	TV	2x131	Batna	AIN DJASSER 3	TG FIXE	277.5
Oum el boua-gui	F'KIRINA 1	TG MOBILE	4x25				
	F'KIRINA 2	TG FIXE	2x146				
TOTAL	12019 MW						

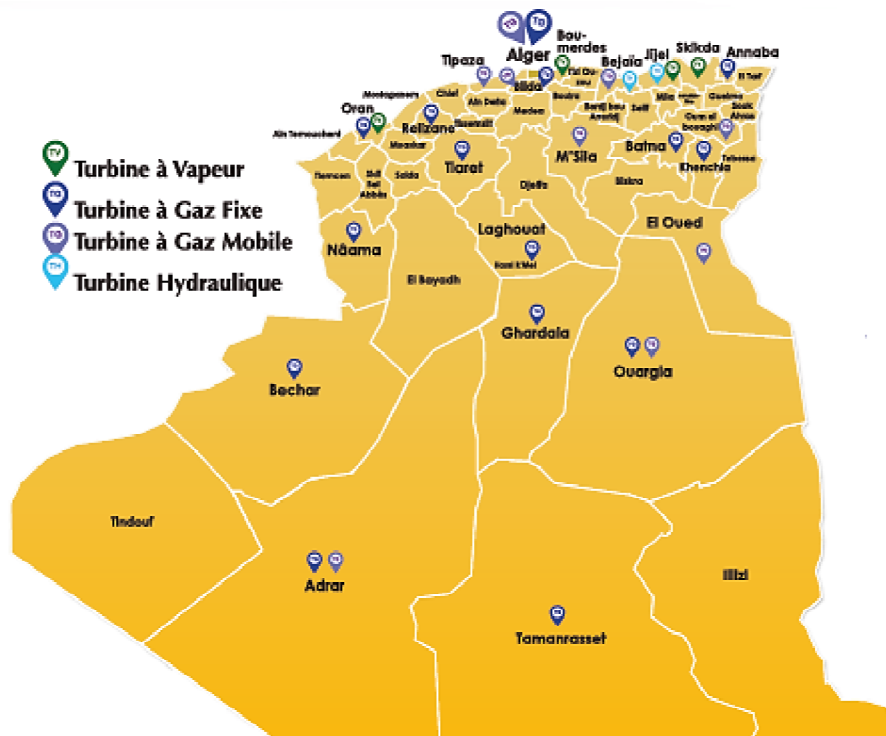


Figure III.17 : Carte des sites de production d'électricité en Algérie selon SPE.

III.5.2 PLAN DE DEVELOPPEMENT DU PARC DE PRODUCTION SPE

La capacité de production additionnelle nationale prévue sur la période 2017-2026 est de 19 395,4 MW (tous réseaux confondus) dont 11 895,4 MW en cours de réalisation (11 575,4 pour le RIN et 320 MW pour le réseau PIAT) et 7500 MW décidé dans le cadre du plan de développement à l'horizon 2026. Les 11 895,4 MW déjà décidés sont réparties comme suit : 11 575,4 MW en conventionnel (TG et CC) pour le RIN (Réseau Interconnecté National), 320 MW (TG mobile) pour le PIAT[10] .

Tableau III.2 : Plan de développement des Moyens de production de l'électricité en turbine à Gaz et cycle combiné 2018-2021

*

Région	Localité	Type	Puissance installée	Date de mise en service
Sétif	Ain arent	CC	1015	Avril 2019
Boumerdes	Ras djinet	CC	1131	Décembre 2018
Nàama	Méchrria	CC	1163	Juin2020
Khenchela	Kais	CC	1266	Mai2020
Biskra	Oumach 1	CC	1338	Mai2020
Jijel	Bellara	CC	1398	Mai2020
Djelfa	Ain ouessara	CC	1262	Novembre2020
Mostaghanem	Sonaghter	CC	1450	Juin2021
Batna	Ain djasser 2	TG	139	Février 2018
Oran	Boutlélis	TG	446	Juin 2018
Hassi R'Mel	Timghemt 2	TG	368	Juin 2018
TOTAL			10 976 MW	



Figure III.18 : sites des centrales CC et TG des projets SPE à réaliser en 2018-2021.

Pour le pôle In Salah – Adrar - Timimoun, le parc sera renforcé avec plus de 320 MW sur la période 2018-2025. A noter que 320 MW (16 TG mobiles) ont déjà été installés au niveau du PIAT : 02 groupes à Adrar, 04 groupes à Timimoun, 08 groupes à Zaouiet Kounta et 02 groupes à Kabertene.

III.5.3 CAPACITES DES ENERGIES RENOUVELABLES

Le tableau suivant présente la production d'électricité par source

Tableau III.3 : Production d'électricité par source pour la période de 2002-2015.

TWh	2002	2009	2010	2011	2012	2015
Solaire	-	0,004	0,004	0,062	0,069	0,9
Partie PV	-	0,004	0,004	0,004	0,011	0,8
Partie thermique	-	-	-	0,058	0,058	0,1
Eolien	-	-	-	-	-	-
Hydraulique	0,057	0,306	0,174	0,378	0,389	-
Fossiles	29,7	40	47,9	51,2	56,7	67
Total des renouvelables	0,057	0,31	0,187	0,417	0,458	0,9
Total conventionnel	29,7	40	47,9	51,2	56,7	67
Total de la production	29,8	40,3	48,1	51,6	57,2	67,9
Pourcentage des renouvelables	0,2%	0,8%	0,4%	0,8%	0,8%	1,3%

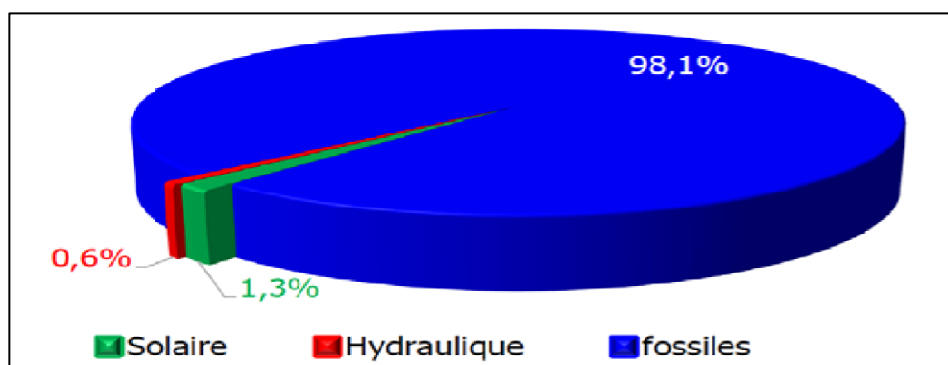


Figure III.19 : structure de production d'électricité 2002-2015.

III.5.4 PLAN DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

Suite au lancement du programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, adopté en février 2011 par le Gouvernement, il est apparu dans sa phase expérimentale et de veille technologique, des éléments nouveaux et pertinents sur la scène énergétique, aussi bien nationale qu'internationale, nécessitant la révision du programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Parmi ces éléments, il convient de citer:

- Une meilleure connaissance du potentiel national en énergies renouvelables à travers les études engagées, lors de cette première phase, notamment les potentiels solaire et éolien;
- La baisse des coûts des filières photovoltaïque et éolienne qui s'affirment de plus en plus sur le marché pour constituer des filières viables à considérer (maturité technologique, coûts compétitifs ...)

Ainsi, le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent.

Les projets de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes :

Première phase 2015 - 2020 : Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4000 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 500 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.

Deuxième phase 2021 - 2030 : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Béchar et leur intégration dans le système énergétique national.[10]

Chapitre IV

*Mode de transport, répartition et distribution d'énergie
électrique*

IV.1 Niveau de tension :

Les niveaux de tension utilisés diffèrent d'un type de réseau à un autre et diffèrent d'un pays ou d'une région à une autre. Selon la norme IEC (International Electrotechnical Committee) les niveaux de tension sont définis comme suit

THT (VHV) : Très haute tension (Very high voltage), pour des tensions composées supérieures à 220 kV ;

HT (HV) : Haute tension (High voltage), des tensions composées supérieures comprises entre 33 kV et 220 kV ;

MT (MV) : Moyenne tension (Medium voltage), des tension composées comprises entre 1 kV et 33 kV ;

BT (LV) : Basse tension (Low voltage), tension comprise entre 100 V et 1 kV ;

TBT (VLV) : Très basse tension (Very low voltage), inférieure à 100 V.

D'autres normes existent, notamment la norme IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Celle-ci définit la tension moyenne sur une large plage (de 1 kV jusqu'à 69 kV). La norme IEEE est utilisée surtout en Amérique du nord. Il y a aussi la norme française qui définit les niveaux comme suit :

HTB : supérieure à 50 kV, HTA : entre 1 kV et 50 kV, BTB : entre 500 V et 1 kV, BTA : entre 50 et 500 V et TBT : inférieur à 50 V[29]

IV.2 Topologie de réseau électrique

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau de fiabilité recherché, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont illustrées sur la Figure. IV.20

IV.2.1 Réseau maillé

Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport. Tous les centres de production sont liés entre eux par des lignes THT au niveau des postes d'interconnexion, ce qui forme un maillage.

Cette structure permet une meilleure fiabilité mais nécessite une surveillance à l'échelle nationale voire continentale.

IV.2.2 Réseau bouclé

Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT. Les postes de répartition HT ou MT alimentés à partir du réseau THT sont reliés entre eux pour former des boucles, ceci dans le but d'augmenter la disponibilité. Cependant, il faut noter que les réseaux MT ne sont pas forcément bouclés.

IV.2.3 Réseau radial

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au départ par un poste source HT ou MT. En moyenne tension cette structure est souvent alimentée des deux côtés afin d'assurer la disponibilité.

IV.2.4 Réseau arborescent :

Cette structure est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain où la charge n'est pas très sensible aux interruptions. Elle est constituée d'un poste de répartition qui alimente plusieurs postes de distribution (BT) grâce à des piquages à différents niveaux des lignes alimentant les postes MT/BT.

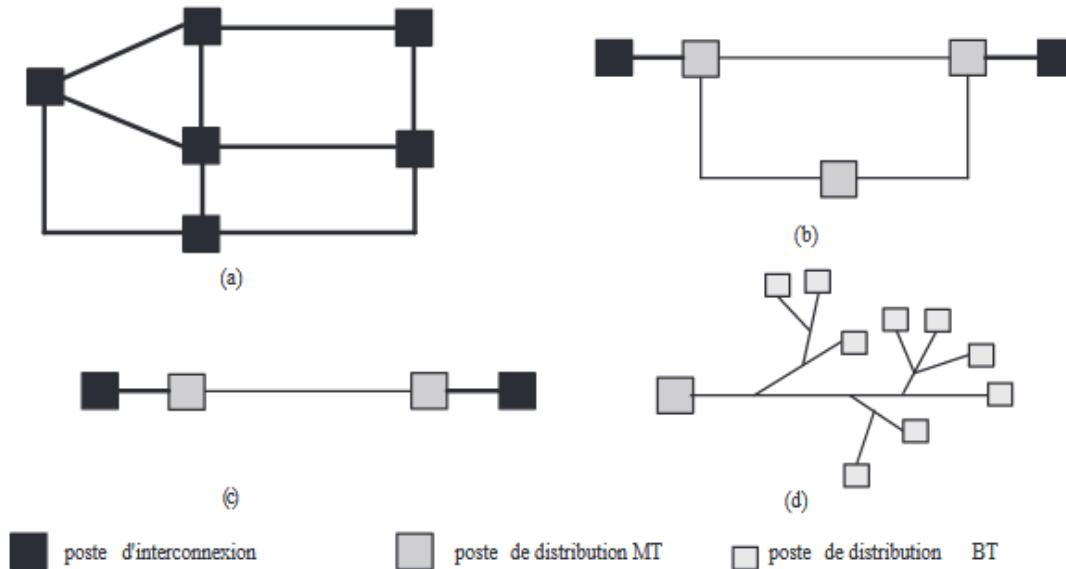


Figure IV .20 : Différentes topologies des réseaux électriques : (a) Réseau maillé, (b). Réseau bouclé, (c). Réseau radial, (d). Réseau arborescent

IV.3 Équipements et architectures des postes

Dans une analyse globale d'un réseau électrique un poste est considéré comme une barre ou tout simplement un nœud où transitent des flux de puissances. Pour le désigne et la planification du réseau, ce poste constitue une pièce majeure dans le système de répartition ou de distribution, dans la mesure où c'est à ce niveau qui est organisée la configuration de la topologie du réseau, et c'est aussi un point de surveillance de contrôle et de protection. [29]

Un poste électrique est un ensemble d'appareillage arrangé de sorte à :

- Faire transiter la puissance d'un niveau de tension à un autre, en général s'il s'agit d'un poste de répartition ou de distribution, le poste sert à baisser la tension ;
- Réglage de la tension, comptage de puissance, surveillance, . . . etc.

Qualités recherchées d'un poste

Les qualités recherchées lors d'un choix d'architecture d'un poste électrique sont : La sécurité qui est l'aptitude à conserver un maximum de dérivations (départs) saines en service, en cas de non ouverture du disjoncteur chargé d'isoler une partie en défaut. La souplesse ou l'aptitude d'un poste à réaliser plusieurs découplages et y raccorder n'importe quels départs. Une maintenabilité permettant la poursuite de l'exploitation d'une dérivation malgré l'indisponibilité d'un disjoncteur, et finalement, une simplicité de sorte à pouvoir changer de configuration en manœuvrant le minimum d'appareils.

La focalisation sur une qualité donnée dépend du type de poste et des options d'exploitation. En règle générale, les postes THT et HT couvrent de très larges zones, c'est pourquoi on favorise avant tout la sécurité. Pour les postes MT, la charge couverte est beaucoup moins importante, alors on favorise plutôt l'économie.[29]

IV.4 Poste HT/MT

Le réseau de distribution moyenne tension commence à partir du poste source HT/MT d'où partent plusieurs départs MT constitués d'un ensemble de conducteurs et d'appareils de coupure qui alimentent les charges moyenne tension ou les postes de distribution publique (MT/BT). Ce type de poste (figure IV .36) est constitué d'un transformateur (T1) alimenté par une ligne HT (HT1). Avec l'augmentation des charges à desservir, on peut y adjoindre un deuxième (T2), puis, en stade final, un troisième transformateur (T3) généralement en double attache.[11]

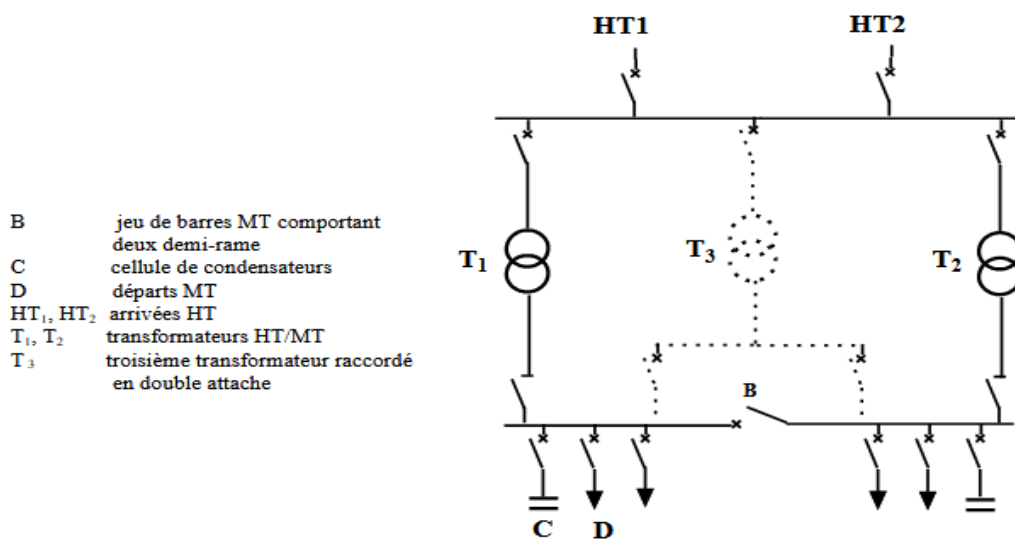


Figure IV21 : Schéma d'un poste HT/MT

En même temps que le deuxième transformateur, on raccorde généralement une deuxième arrivée HT (HT2), dite garantie ligne, opérant en cas de défaut sur la première. Le ou les transformateurs débitent sur un tableau MT qui forme un jeu de barres composé de rames. Chaque rame est un ensemble d'une dizaine de cellules environ, organisée en deux demi-rames reliées entre elles par un organe de couplage, en sectionnement de barre (figureIV.22

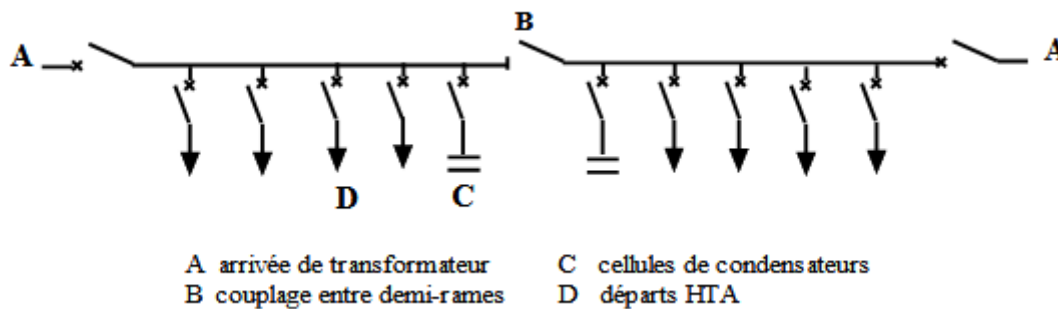


Figure IV.22 : Schéma du principe d'une rame MT

IV.5 Architectures des réseaux de distribution urbains et ruraux

La qualité de service en milieu urbain est primordiale à cause des infrastructures sensibles comme les hôpitaux, usines . . . etc.

Le réseau urbain est plus souvent enterré avec des postes maçonnés. Ce choix réduit la fréquence des défauts, mais la durée d'intervention est souvent plus longue.

La répartition géographique des charges est l'une des contraintes qu'il faut prendre en compte lors du choix d'une architecture. En effet, un milieu urbain, est caractérisé par une densité de charge élevée avec des longueurs de conducteurs faibles. Ainsi, les puissances appelées sont importantes et les problèmes qui peuvent intervenir sont principalement liés aux courants admissibles dans les conducteurs.

Les architectures rencontrés habituellement en milieu urbain utilisent bouclées (parfois radiales) avec des dérivations double ou en coupure d'artère.[29]

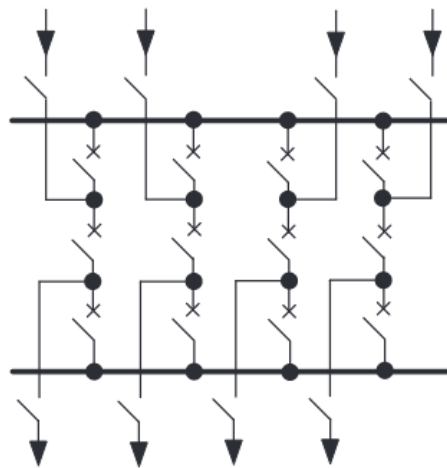


Figure IV.23 : Architecture à couplage de disjoncteur-Schéma à un disjoncteur et demi.

IV.6.Réseaux.MT

Les réseaux MT (figure IV .24) sont, soit réalisés avec des câbles souterrains quasiment toujours bouclés mais exploités en radial (réseaux urbains principalement), soit réalisés avec des lignes aériennes, elles aussi le plus souvent bouclables (réseaux ruraux). Il reste quelques structures aériennes en antenne sans secours possible. Les réseaux construits avec des lignes aériennes ont des contraintes liées à l'esthétique, à la fiabilité et à l'encombrement ce qui a poussé au développement des câbles souterrains. Par ailleurs, des techniques modernes de pose mécanisée des câbles souterrains ont rendu leur utilisation plus compétitive.

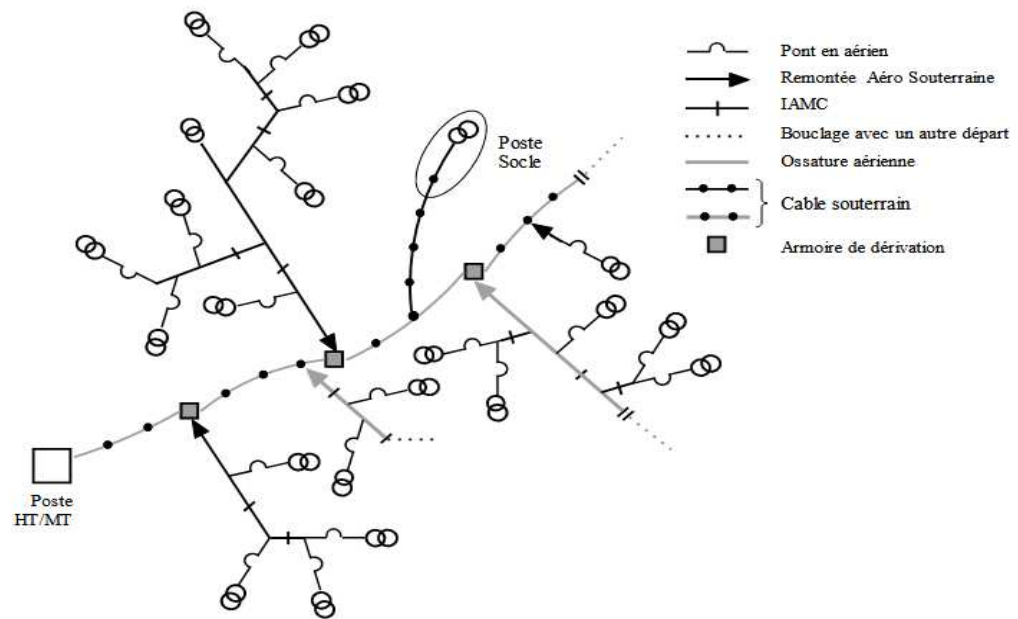


Figure IV.24 : Structure d'un départ MT

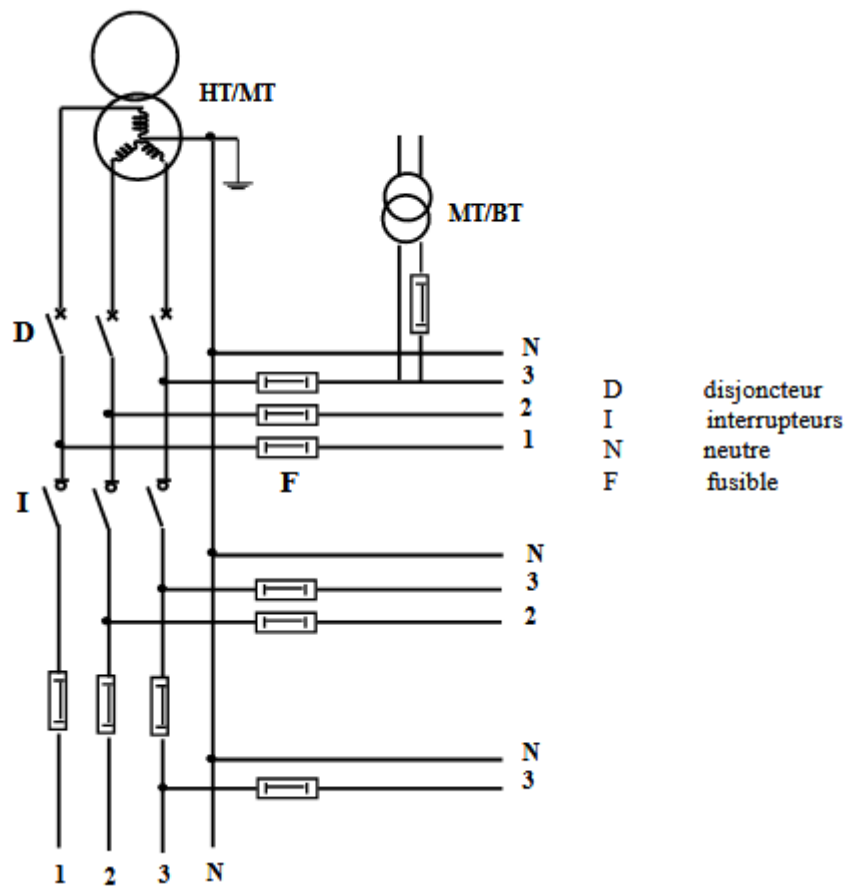
Ainsi deux doctrines sont nées :

la doctrine nord-américaine, à neutre distribué (figure IV.24) ;

la doctrine française et, en général, européenne) à trois fils, le neutre n'étant pas distribué.

IV.6.A. Réseau de type nord-américain

Cette architecture est composée de quatre conducteurs : trois conducteurs de phases et un conducteur de neutre. Le neutre est mis à la terre au niveau du poste source HT/MT puis régulièrement (tous les 200 à 300 mètres) ainsi qu'à chaque transformateur ou branchement de clients. A partir de cette ossature principale, des dérivation de type arborescentes se développent. Celles-ci peuvent être triphasées, biphasées ou monophasées. La figure IV.25 illustre la distribution de type nord-américaine.



FigureIV.26 : Structure d'un départ aérien MT (à neutre distribué)

IV.6.B.Réseau.de.type.européen

Cette architecture est composée, au niveau de la moyenne tension, de trois conducteurs qui sont les trois conducteurs de phase. Le neutre est directement relié à la terre par une impédance au niveau du poste source HT/MT. Cette architecture présente une ossature principale de forte section de laquelle partent des dérives plus économiques qui alimentent des grappes de postes sources MT/BT.

La figure IV.27 illustre la distribution de type européenne.[11]

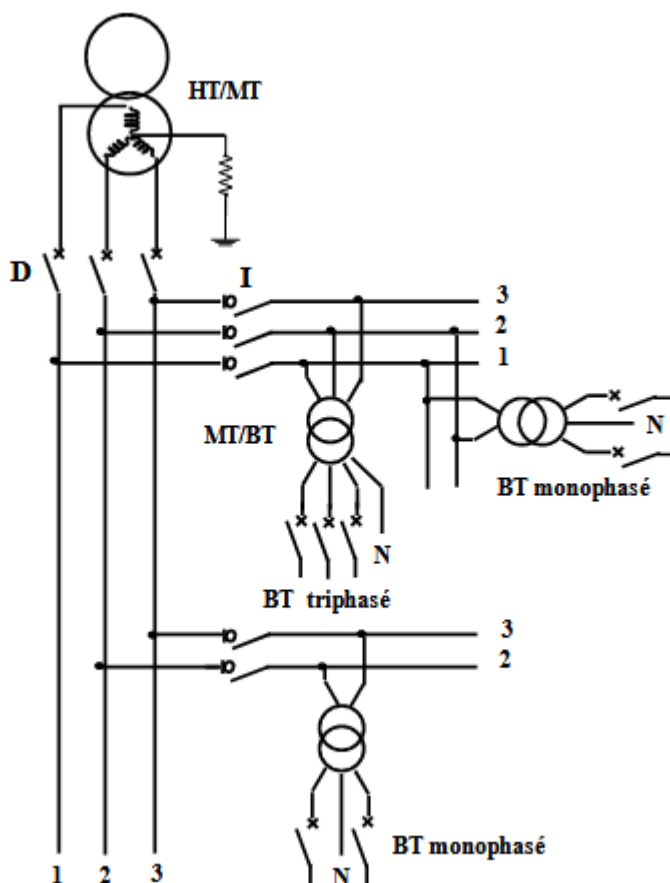


Figure IV.27 : Modes de distribution (sans neutre distribué, mixte deux ou trois phases)

IV.6.Réseaux.MT.souterrains

Les différences de structures entre réseaux aériens et souterrains proviennent essentiellement, par nature, de la nécessité de faire face à des indisponibilités beaucoup plus longues en système souterrain, pour localiser une avarie éventuelle et en effectuer la réparation ou bien pour réaliser des travaux programmés.

Une caractéristique fondamentale d'un réseau MT souterrain est le nombre de voies d'alimentation utilisables pour desservir une même charge (poste MT/BT) :

- ↳ la structure à une voie d'alimentation, c'est-à-dire purement radiale en antenne, est simple et économique, mais n'offre pas de possibilité de reprise de service en cas d'incident ; c'est pourquoi, sauf cas particuliers rares, elle est proscrite en souterrain ;
- ↳ les structures à deux voies d'alimentation sont les plus fréquentes ; on y distingue deux grandes familles : les réseaux en double dérivation et les réseaux en coupure d'artère ;
- ↳ les structures à voies d'alimentation multiples sont plus rares, mais assurent une qualité de service encore meilleure.[11]

●Réseau.endouble.dérivation

Le réseau radial en antenne est doublé à partir du jeu de barre du poste source HTB/HTA. Ainsi chaque transformateur HTA/BT est connecté à un câble normal et à un câble de secours par le biais de dispositifs inverseurs comme le montre la figureIV.27 C'est une structure difficilement exploitable manuellement mais facilement automatisable malgré les coûts.

●Réseau.en.dérivation.multiples

Chaque poste source HTA/BTA ne dispose que de deux voies d'alimentation mais ces deux voies sont raccordées alternativement à entre trois et six câbles partant du poste source HTB/HTA. En cas de défaut, la

Charge peut être basculée soit sur un câble secours, soit sur les autres câbles (secours intégré) comme le montre la figure II.28

●Réseau.en.coupure.d'artère

Dans les réseaux de ce type, les postes source HTB/HTA sont raccordés deux à deux par des circuits dit artères (figureIV.27). Chaque charge (postes HTA/BTA) est connectée directement à une artère qui contient un ou plusieurs organes de coupure ayant l'état normalement ouvert ou fermé afin de réaliser l'exploitation dans une structure radiale. Dans certains cas, la connexion entre les postes HTB/HTA peut être renforcée par un câble de secours. Il existe les variantes de la structure en coupure d'artère appelées le fuseau, l'épi et la boucle ou pétale de marguerite. Les figures IV.25, présentent les trois structures en coupure d'artère.

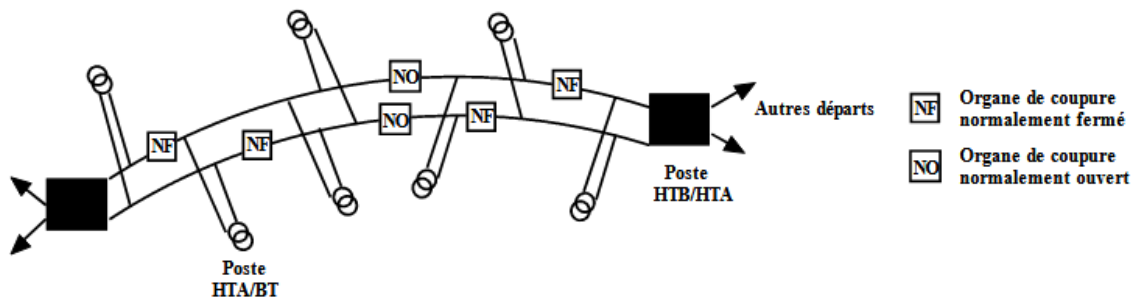


Figure IV.26 : Réseaux en double dérivation

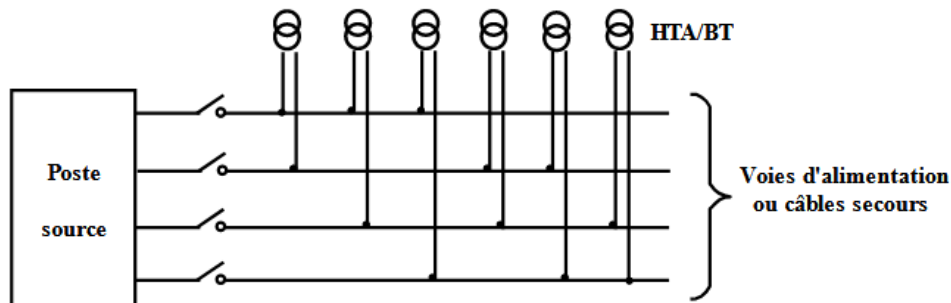


Figure IV.27 : Alimentation par voies multiples

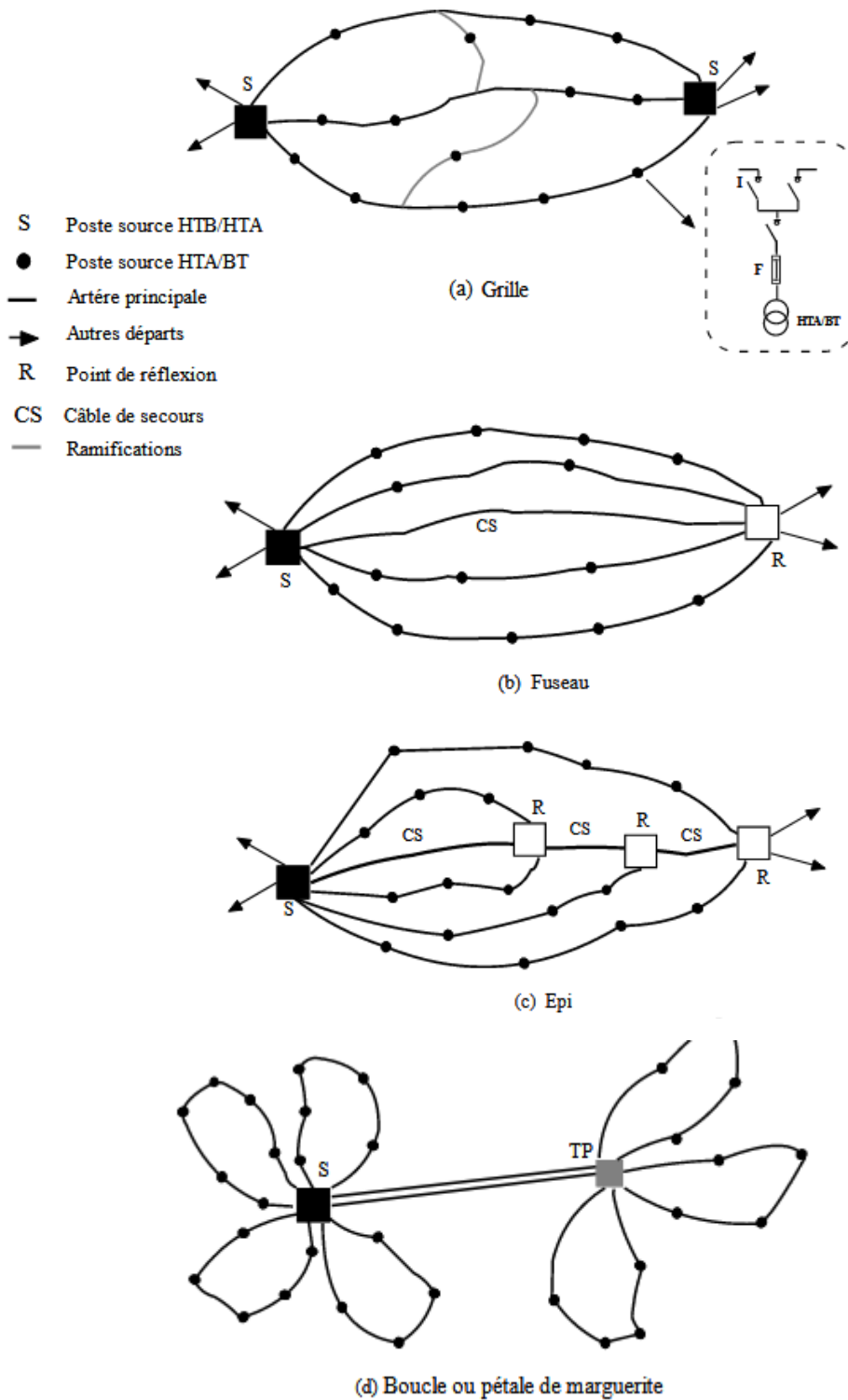


Figure IV.28 : Réseaux en coupure d'artère

IV.7-Postes HTA/BT

Ils sont l'interface entre les réseaux HTA et BT. Ils ont essentiellement un rôle de transformation HTA/BT auquel peuvent éventuellement être associées une fonction d'exploitation HTA et une fonction de répartition BT, suivant la charge à desservir.

Une des caractéristiques essentielles des postes HTA/BT est leur puissance nominale. On rencontre à travers le monde des puissances comprises entre quelques kilos Voltampères et plusieurs méga Voltampères. On peut citer plusieurs types de postes HTA/BT de niveau de complexité croissante (figure IV.28).

IV.7.A. Poste sur poteau

C'est le plus simple, utilisé en réseau aérien. Son principe de conception est de considérer qu'il fait partie intégrante de la ligne. Sur le même poteau sont supportés l'arrivée MT, un transformateur apparent et une sortie BT avec un disjoncteur BT en milieu de poteau (figure IV.29 a). Ce type de poste, simple et peu coûteux, a permis dans le passé l'électrification rapide des écarts ruraux grâce à la grande souplesse de distribution des charges. Les puissances normalisées du transformateur sont : 63 ; 100 ; 160 kVA [11]

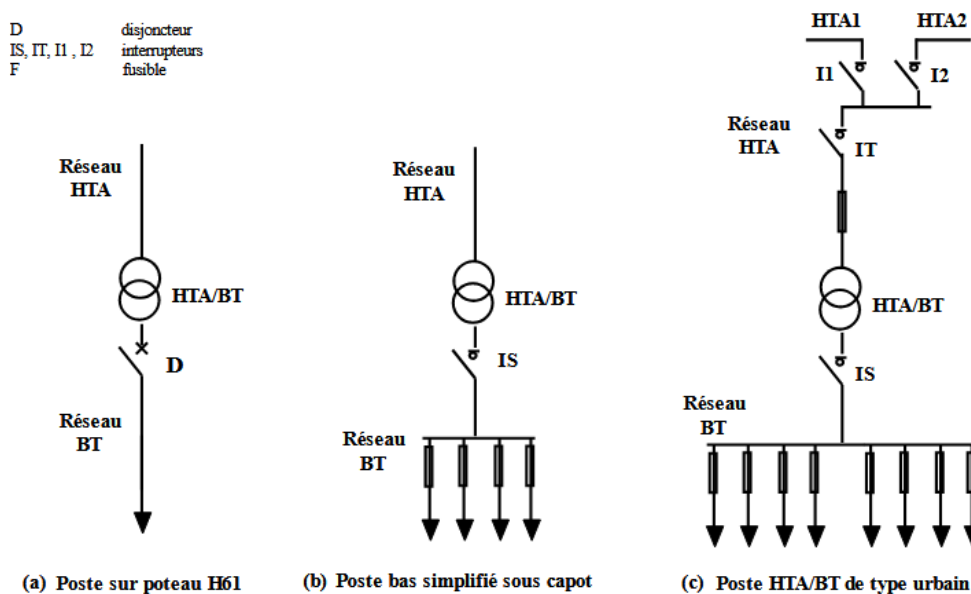


Figure IV.29 : Structures de postes HTA/BT

IV.7.B. Poste bas simplifié sous capot

Généralement préfabriqué, raccordé exclusivement sur des réseaux aériens MT, ce type de poste permet de délivrer des puissances (160; 250; 400kVA) supérieures à celles du H61, dans des conditions encore économiques.

La liaison avec le réseau MT s'effectue par descente aérosouterraine sans organe de coupure (figure II.244.b), le raccordement au transformateur étant réalisé par prise embrochable. L'énergie BT peut être répartie par un ensemble comportant un organe de coupure et jusqu'à quatre départs protégés par fusibles.

IV.7.C. Poste de type urbain raccordé en souterrain

Du fait des structures de réseau MT en coupure d'artère ou en double dérivation, ils comportent un appareillage MT composé en général de deux arrivées MT (MT1, MT2) avec cellules interrupteur en technique protégée, et une cellule de protection du transformateur avec fusible et

éventuellement un interrupteur (figure IV29.c). Le poste est prévu en général pour un seul transformateur, mais dans certains cas, il peut y en avoir plusieurs pour faire face à des charges ponctuelles importantes. Les puissances normalisées de transformateur sont : 250; 400; 630 et 1000 kVA

IV.8 Réseaux BT

Il existe plusieurs modes d'alimentations des tableaux BT, avec une ou plusieurs sources d'alimentation. Dans ce qui suit nous citerons deux exemples.

IV.8. A. Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Les tableaux T1, T2, T3 bénéficient d'une seule source d'alimentation. Le réseau est dit de type radial arborescent. En cas de perte de la source d'alimentation d'un tableau, celui-ci est hors service jusqu'à l'opération de réparation (figure IV.30).

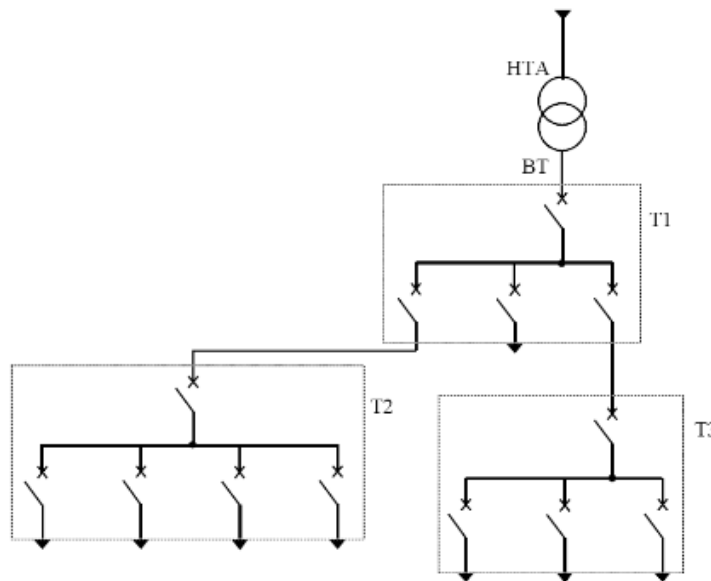


Figure IV30 : Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

IV.8. B. Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

Le tableau T1, de la figure III.28, bénéficie d'une double alimentation sans couplage par 2 transformateurs HTA/BT:

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

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

- } une source alimente le tableau T2, la seconde assure le secours ;
- } en fonctionnement normal, un seul disjoncteur est fermé (D3 ou D4).[11]

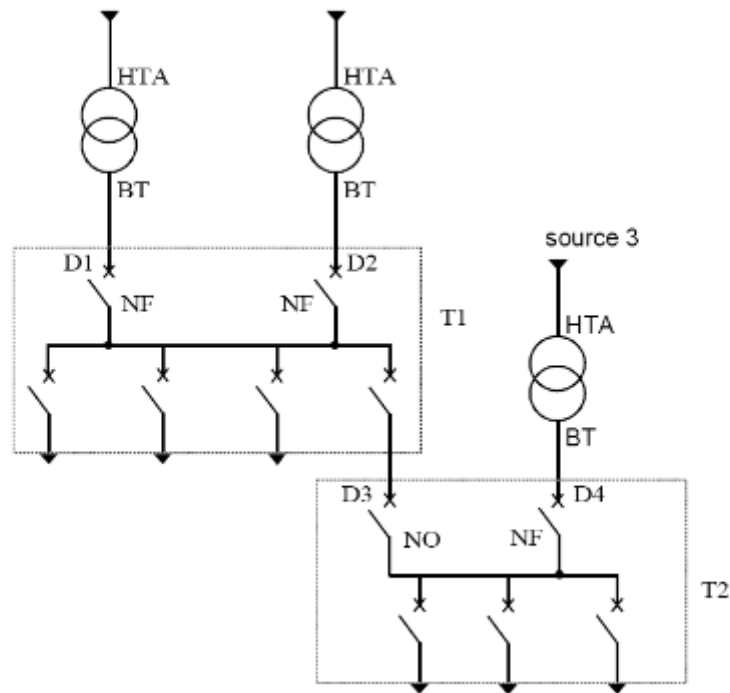


Figure IV.31 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

IV.9 Réseaux ruraux

Le milieu rural se caractérise par une densité de charge faible répartie sur une grande zone. On a donc de grandes longueurs de conducteurs, souvent aériens. Ainsi, les problèmes qui peuvent intervenir dans les réseaux ruraux sont principalement liés aux chutes de tension admissibles en bout de ligne. Les réseaux ruraux ont des architectures arborescentes bouclabes mais souvent exploitées en radial (Figure.II.47)[11]

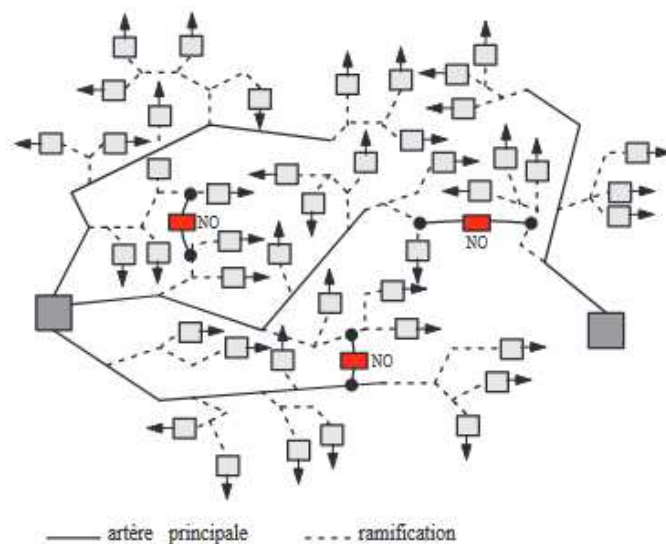


Figure IV.32 : Réseau rural

DEUXIEME PARTIE

LES RISQUES ELECTRIQUES

Chapitre I

RISQUES ELECTRIQUES

I-1. INTRODUCTION

L'électricité constitue une forme d'énergie particulièrement aisée à produire, à transporter et à convertir en une autre forme d'énergie (mécanique, chimique, thermique, lumineuse), toutefois elle n'est pas dépourvue de risque, entraînant parfois des accidents électriques qui peuvent être fatals.

L'électricité ne se voit pas, ne s'entend pas, n'a pas d'odeur mais entraîne chaque année des accidents graves par contact direct ou indirect avec des pièces nues sous-tension.

En matière d'accidents de travail, l'électricité constitue une cause relativement peu fréquente, mais elle comporte un facteur de gravité important.

Le nombre d'accident d'origine électrique est diminué par rapport aux années Soixante (dont 1/10 des accidents graves), les accidents d'origine électrique sont dix fois plus souvent mortelles que l'ensemble des accidents de travail. Les lésions occasionnées sont pour la moitié des brûlures. Et sont généralement localisées au niveau des mains, des yeux et de la tête.

Le courant électrique est dangereux car il constitue une cause relativement fréquente d'accident de travail dans le domaine du génie électrique.

Les accidents apparaissent en raison de l'exposition, plus ou moins prolongée, au risque d'origine électrique qui trouve sa source dans la notion de voisinage avec une ou des pièces nues sous tension. La mise en contact accidentelle de parties du corps avec ces conducteurs sous tension peut provoquer des commotions électriques qui peuvent être mortelles.

Le danger est constitué par l'intensité du courant qui traverse le corps humain quand celui-ci est soumis à une tension électrique. Les accidents d'origine électrique peuvent également provenir du jaillissement d'un arc électrique. Ce courant est appelé «*courant de contact*».

I-2. NATURE DES ACCIDENTS ELECTRIQUES

On peut classer les accidents d'origine électrique soient par:

- Leurs actions

Tableau I.4 : Accidents par contact direct et indirect

Contact direct	Contact indirect
(électrisations les plus fréquentes) 45% des accidents. C'est le contact des personnes avec des parties actives (phase ou neutre), ou des parties conductrices sous tension.	(Electrisations peu fréquentes) 20% des accidents. C'est le contact des personnes avec des masses mises accidentellement sous tension. Cette mise sous tension accidentelle résulte de la défaillance de l'isolation d'un appareil amenant un défaut d'isolement.

Le domaine d'activité dans lequel ils surviennent (milieu domestique : Prise du courant, cordons et fiches ; Milieu agricoles ; L'électricité statique ; la foudre ; les incendies ; les explosions etc..).

I-2-1.ACCIDENTS ELECTRIQUES SUR L'HOMME

I-2-1-1. PAR CONTACT DIRECT AVEC UNE PIECE NUE SOUS TENSION

Le contact direct est le contact physique entre une personne et une pièce nue habituellement sous tension. C'est par exemple le contact d'une partie du corps humain avec la partie conductrice d'un câble électrique, d'une borne de raccordement, avec l'âme d'un conducteur dénudé...

Ce contact va soumettre le corps de la personne à une tension, appelée aussi différence de potentiel, entre le point de contact avec la pièce nue sous tension et la partie du corps en liaison avec la terre, et provoquer la circulation d'un courant entre ces deux points de contact :

- Risques pour la personne : Electrification, électrocution, brûlure ;
- Risqué pour installation: Aurum.

Beaucoup de travailleurs sont amenés à utiliser des matériels alimentés en énergie électrique (machine-outil, appareil de levage et manutention, matériel de bureau...). Toutes les entreprises peuvent donc être confrontées à un accident d'origine électrique de type électrification, électrocution, brûlure, incendie ou explosion. Si le nombre d'accidents liés à l'électricité diminue régulièrement, ceux-ci sont souvent très graves.

Les accidents électriques trouvent leur origine dans la conception, la réalisation, l'utilisation ou l'entre- tien des installations. Ils surviennent majoritairement sur :

- Les installations non conformes aux normes ;
- Les installations conformes mais dont la qualité d'origine, principalement leur isolation, se détériore au cours du temps suite à des agressions qui peuvent être
D'origine mécanique, thermique, chimique, ou autre ;
- Les installations conformes modifiées par des personnes non qualifiées ;
- Les installations improvisées (branchements de fortune), où l'on rencontre des conducteurs mal protégés et des dispositifs de protection inadaptés ;
- Les installations « bricolées », souvent sources de situations potentiellement dangereuses ;
- La mauvaise perception du risque électrique ou l'absence de formation adaptée des utilisateurs...
- Les accidents électriques peuvent être provoqués par:
 - Un contact direct: contact avec une pièce nue sous tension ;
 - Un contact indirect: contact avec une pièce mise accidentellement sous tension.

❖ Exemple « Électrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant »

• Scénario de l'accident

Un ouvrier électricien, chargé de remplacer un diabolos sur un support de ligne de contact alimentant un pont roulant en 400 V, monte sur la poutre métallique sur laquelle repose le rail de roulement du pont et veut procéder à la réparation sans couper le courant et sans gants.

Par la suite d'un faux mouvement l'une de ses mains vient en contact avec l'un des conducteurs de la ligne alors que ses pieds reposent sur la poutre.

Coincé entre la ligne de contact et la poutre, l'ouvrier décède lorsqu'on parvient à le dégager.
Le rail de roulement du pont roulant étant à la terre, l'ouvrier a été soumis à une différence de potentiel, par contact direct main / pieds

Tableau I.5 : Electrocutation par ligne de contact

Cause de l'accident	Conséquence	Enseignements
Faux mouvement (contact de la main avec un conducteur 230 V)	La mort del'ouvrier	Ce travail aurait dû être effectué hors tension car aucun travail ne doit être effectué sous tension, à moins que les conditions d'exploitation ne rendent dangereuse ou impossible la mise hors tension ou si la nature du travail requiert la présence de la tension. De plus il doit y avoir, sur l'alimentation de la ligne de contact, un dispositif de coupure omnipolaire verrouillable en position d'ouverture, permettant de travailler hors tension sans risque de remise sous tension intempestive.



FigureI.33 : Electrocutation par ligne de contact alimentant UN pont roulant

❖ **Deuxième exemple « Travail sous tension »**

• **Scenario de accident**

UN ouvrier électricien procède, dans un sous- sol, au remplacement d'un coffret de raccordement en compagnie d'autres ouvriers de la même entreprise.

A un moment donné, il touche malencontreusement une pièce sous tension. Soumis à ladifférence de potentiel phase / terre, il s'écroule foudroyé.

Cause de l'accident	Conséquence	Enseignement
Contact avec une pièce sous tension.	Travailleur s'écroule foudroyé.	Ce travail n'aurait pas dû être effectué sous tension puisque ce n'était pas indispensable.

Tableau I.6: Travail sous tension



**Figure I.34 : Travail sous tension dans un sous-sol
I-2-1-2. PAR CONTACT INDIRECT**

Un contact indirect est un contact avec une pièce conductrice mise accidentellement sous tension. Par exemple, l'enveloppe métallique d'une armoire électrique peut se trouver accidentellement sous tension si un de ses éléments est en défaut d'isolement et qu'elle n'est pas reliée à la terre. Un contact avec cette enveloppe peut provoquer une électrisation; il s'agit d'un contact indirect:

- Risques pour la personne : Electrisation, électrocution, brûlure
- Risques pour l'installation : Aucun

❖ **Exemple d'éclairage provisoire dans un local mouillé**

• **Scénario de l'accident**

UN ouvrier procède, dans le sous-sol d'une chaufferie, à la modification de Gaines métalliques d'amenée d'air.

Par leurs différentes fixations et par le matériel électrique fixé sur ces gaines (moteurs de ventilation, clapets, vannes, etc. . .), celles-ci se trouvent réunies à la terre.

L'éclairage du chantier correspondant est, par ailleurs, assuré par une ligne provisoire réalisée à l'aide d'un câble fixé çà et là aux parois et de douilles métalliques à bout de fil.

Croyant inutile de déranger un électricien, cet ouvrier, sans couper le courant, veut remplacer une des ampoules par une autre de plus forte puissance.

En touchant la douille, il tombe au sol sans connaissance ; transporté à l'infirmierie, il ne pourra être ranimé.

De l'enquête il ressort que la douille est en contact avec un conducteur sous tension et se trouve par conséquent mise accidentellement sous tension.

Tableau I.7: Eclairage provisoire

Cause de l'accident	Conséquence	Enseignement
Douille en contact accidentellement avec un conducteur sous tension	Chute au sol	<p>Dans les locaux mouillés (c'est le cas de ce sous-sol où circulent des gaines métalliques mises à la terre de fait), on doit utiliser :</p> <ul style="list-style-type: none"> -/ Soit du matériel alimenté en très basse tension de sécurité (TBTS) ou en très basse tension de protection (TBTP), -/ soit du matériel conçu pour assurer la sécurité des travailleurs. <p>Ainsi, cette installation aurait dû être alimentée en TBTS à partir de transformateurs de sécurité.</p>

❖ **Deuxième exemple d'électrocution dans une filature**

• **Scénario de l'accident**

Dans l'atelier de lavage d'une filature de laine, une ouvrière est victime d'une électrocution en voulant manœuvrer le levier d'une essoreuse. La recherche des causes de cet accident fait apparaître que le conducteur de protection (terre) a été débranché et laissé en attente ; d'autre part, un des conducteurs d'alimentation, dont l'isolation est défectueuse, est en contact avec la masse métallique du bâti de la machine et l'ouvrière se trouve directement sur le sol mouillé.

Tableau I.8: Electrocution dans une filature

Causes de l'accident	Conséquence	Enseignement
<p>-/ Le non-respect dû soit à la méconnaissance, l'oubli, etc. Au moment du montage, soit à une mauvaise surveillance et un mauvais entretien.</p> <p>-/ Isolation des conducteurs d'alimentation défectueuse.</p>	Electrocution mortelle	La mise à la terre de toutes les masses du matériel et de l'appareillage qui ne sont pas alimentés en TBTS ou TBTP.



Figure I.35: Electrocution dans une filature

I-2-1-3. BRULURE, INCENDIE OU EXPLOSION D’ORIGINE ELECTRIQUE

Exemple d’enlèvement d’un fusible en charge

• **Scénario de l’accident**

Dans un atelier, où les machines sont alimentées à partir d'une gaine préfabriquée située en hauteur, un électricien enlève, dans un coffret de dérivation situé sur une gaine, un coupe- circuit à fusible de 200 A, en charge, c'est-à-dire sans avoir, au préalable, arrêté la machine correspondante.

UN arc se produit et l'ouvrier est gravement brûlé aux mains et au visage

Tableau I.9: Enlèvement d’un fusible en charge

Cause de l'accident	Conséquence	Enseignement
Arc électrique.	Brûlure aux mains et au visage.	En effet, dans ce cas, il se produit un arc d'autant plus important que le courant interrompu est intense, et cet arc peut provoquer un court-circuit au niveau de l'installation fixe. Ce court-circuit est, lui-même, d'autant plus violent qu'il se situe près du générateur. En conséquence il ne faut jamais ouvrir (ou fermer) un circuit de charge à l'aide d'un dispositif de séparation (coupe-circuit à fusible, sectionneur)

❖ **Deuxième exemple d’ouverture d’un sectionneur en charge**

• **Scénario de l’accident**

Un incident mécanique s’étant produit sur un tour automatique, l’ouvrier chargé de la conduite de la machine utilise, pour arrêter celle-ci, le sectionneur général situé en tête de l’armoire de commande.

UN flash se produit à l’intérieur de l’armoire. Celle-ci étant fermée, l'utilisation ne subit aucun dommage, mais l'appareillage interne est en grande partie détruit.

Tableau I.10: Ouverture d’un sectionneur en charge

Cause de l'accident	Conséquence	Enseignement
Flash électrique.	Pas de dommage mais détérioration d'une grande partie de l'appareillage.	En tout premier lieu, l'ouvrier aurait dû utiliser le dispositif d'arrêt d'urgence installé sur la machine pour arrêter celle-ci mais, étant plus éloigné de la machine que de l'armoire, c'est vers celle-ci qu'il s'est dirigé. En second lieu Le sectionneur général, risquant d'être ouvert en charge, aurait dû, soit être équipé de contacts de pré-coupure, soit ne pas pouvoir être manœuvré de l'extérieur de l'armoire.

I-2-1-4. SENSIBILITE AU COURANT ELECTRIQUE

L’analyse des conditions physiopathologiques a amené à distinguer les différentes courbes de temps/courant délimitant les zones de sensibilité et de probabilité de survenance de certains effets. C’est à partir de ces caractéristiques que les Principes de protection des personnes ont été établis.

UN certain nombre de paramètres influent sur la sensibilité et les effets du passage du courant électrique dans le corps humain : Ce sont les caractères propres aux individus (Âge, poids, sexe et caractéristiques physiologiques personnelles), la nature et la durée du passage du courant et les conditions de contact.

I-2-2. TERMINOLOGIE LIEE AUX ACCIDENTS D'ORIGINE ELECTRIQUE

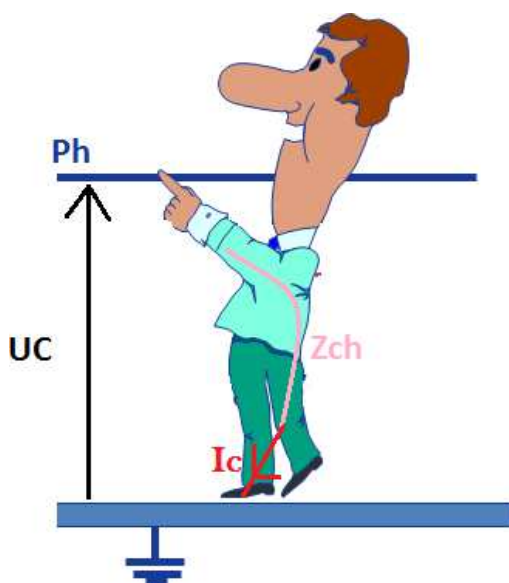
IL convient de rappeler d'abord la terminologie propre aux accidents d'origine électrique. Le terme **électrisation** correspond au passage d'un courant électrique dans le corps humain ou bien que le corps d'un animal. Une électrisation peut survenir accidentellement ou être provoquée. C'est par exemple le cas lorsqu'il est fait usage d'un défibrillateur cardiaque dans le cadre de secours d'urgence. Ou dans le cas des lasers ou pistolets à impulsion électrique qui servent à immobiliser une personne par électrisation, c'est donc toutes les manifestations physiologiques et physiopathologiques dues au passage du courant électrique (CE) au travers du corps humain.

L'électrisation désigne tout accident électrique, mortel ou non. Elle peut se traduire par une simple commotion, qui peut ne pas avoir de suite, ou, à l'opposé, par un état de fibrillation ventriculaire, entraînant la mort.

Lorsque le corps humain est soumis entre deux points à une tension U_c (tension de contact) il est traversé par un courant qui dépend de l'impédance Z_{ch} entre les deux points de contact. L'impédance du corps humain, mesurée entre les extrémités du corps est variable.

Elle varie selon la nature de la peau (sèche, humide, grasse, etc.), les matériaux au contact, l'état de santé, etc.

L'impédance de la peau est pratiquement inversement proportionnelle à : la tension de contact (phénomène de claquage ou de rupture diélectrique), l'humidité et la fréquence (à 500 Hz, l'impédance de la peau est environ le dixième de celle à 50 Hz, dans ces conditions l'impédance totale du corps humain peut être assimilée à son impédance interne).[10]



Impédance du corps humain :
 $Z_{ch} = Z_p + Z_i$
 Z_p : Impédance de la peau
 Z_i : Impédance interne $\approx 500 \Omega$
 Pour les locaux secs :
 Z_{ch} : 2000Ω contact main/main
 Z_{ch} : 5000Ω Contact main/pied
 Pour les locaux humides :
 Z_{ch} : 1000Ω contact main/main
 Z_{ch} : 2500Ω contact main/pied

Figure I.36 : Mécanisme d'électrisation

La gravité de l'électrisation dépend de plusieurs facteurs :

- l'intensité du courant (A) ;
- la tension du courant ;
- le type de courant : alternatif ou continu ;
- la durée du passage de l'électricité dans le corps ;
- la superficie de la zone de contact avec la source électrique ;
- la trajectoire du courant :
- l'état de la peau : normale ou calleuse, sèche ou humide (l'humidité est un facteur aggravant) ;
- la nature du sol (matériau isolant ou conducteur). [11]

❖ **Types de contact:**

- **Contact direct** : (électrifications les plus fréquentes)

45% des accidents sont le contact des personnes avec des parties' actives (phase ou neutre), ou des parties' conductrices sous tension.

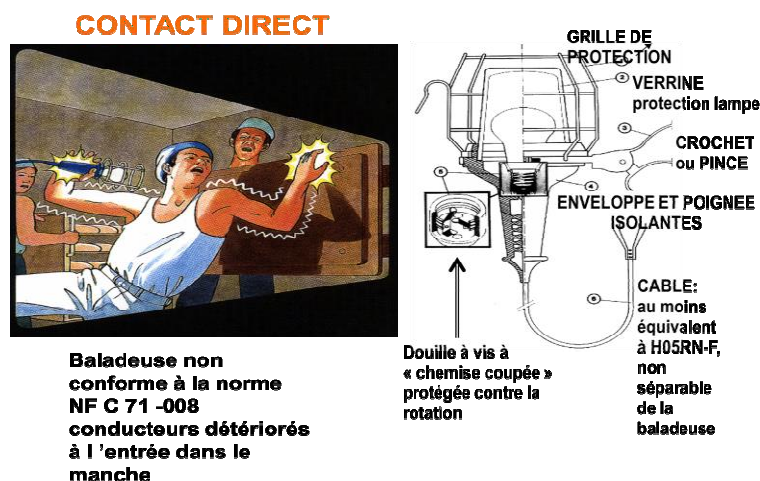


Figure I.37 : Accident par Contact Direct

- **Contact indirect** :(Electrifications peu fréquentes)

20% des accidents sont le contact des personnes avec des masses mises accidentellement sous tension. Cette mise sous tension accidentelle résulte de la défaillance de l'isolation d'un appareil amenant un défaut d'isolement.

- **Court-circuit** : (Electrifications peu fréquentes)

30% des accidents sont le contact réalisé par un objet métallique entre une masse et une partie active sous tension ou entre deux parties actives sous tension.

C'est un terme qui désigne une électrisation immédiatement mortelle.



Figure I.38 : Electrocutation mortelle

Le terme **électrocution** correspond au décès consécutif au passage d'un courant électrique dans le corps humain, mais aussi dans le corps d'un animal. Il est souvent employé à tort à la place du terme électrisation qui est le terme générique à utiliser lorsque l'électricité traverse le corps humain. En France, le nombre d'électrocutions qui surviennent chaque année est estimé à 200. Dans certains États des États-Unis, on recourt à l'électrocution pour exécuter des prisonniers condamnés à mort[10]

• **L'électrocution** est un accident mortel, dû à l'électricité. La fibrillation ventriculaire qui peut suivre l'électrisation est un état transitoire de l'organisme, dit état de mort apparente, qui correspond à un rythme de fonctionnement anarchique du cœur sous l'effet du passage d'un courant électrique de faible intensité (de l'ordre de quelques dizaines de milliampères).

Ce régime cardiaque perturbé du cœur peut se prolonger et l'arrêt définitif du cœur se produire s'il n'y a pas d'intervention extérieure de réanimation (ventilation artificielle, massage cardiaque) permettant le maintien de la survie en attendant l'arrivée des secours médicalisés d'urgence.

Le danger provient surtout du courant électrique qui passe par le corps. Vous pouvez constater, à la figure ci-dessous, qu'une intensité de 10 mA commence à être dangereuse. Pourtant, l'intensité électrique d'une lampe de poche ordinaire peut atteindre 1 A. [12]

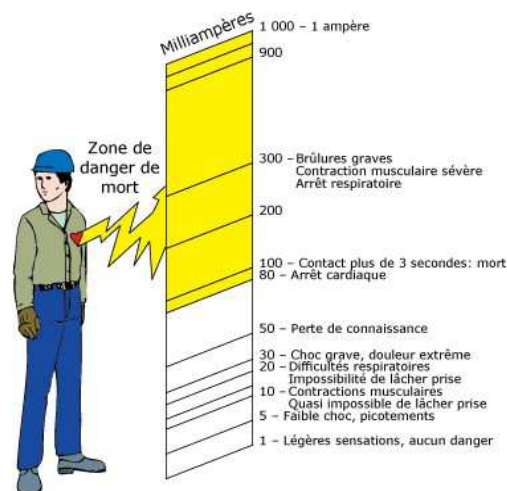


figure I.39 : Electrisation et intensité

Elle ne peut cependant entraîner la mort d'un individu, car la résistance de la peau humaine est normalement assez grande pour s'opposer fortement au débit de courant électrique.

Par exemple, la résistance de la peau d'une main sèche peut dépasser $50\,000\ \Omega$. Dans ce cas, il faudrait une tension supérieure à $500\ \text{V}$ pour que l'intensité soit suffisamment grande pour être dangereuse:

$$I = \frac{U}{R} \qquad I = \frac{500\ \text{V}}{50\,000\ \Omega} = 0,01\ \text{A} = 10\ \text{mA} \qquad \text{(I.1)}$$

Il est important de noter que la résistance de la peau diminue grandement lorsque la peau est humide ou qu'elle présente des coupures. Cette résistance peut passer de $50\,000\ \Omega$ à $500\ \Omega$. Dans ce cas, une tension aussi peu élevée que $25\ \text{V}$ peut être mortelle. . [12]

$$I = \frac{25\ \text{V}}{500\ \Omega} = 0,05\ \text{A} = 50\ \text{mA} \qquad \text{(I.2)}$$

I-2-3. INTENSITE DE COURANT

Les contacts avec les pièces nues sous tension peuvent être directs ou indirect, ce qui implique des dommages et des effets sur le corps humain plus ou moins graves. Les effets du courant électrique sont fonction des paramètres intervenant comme facteurs aggravants et dépendent du trajet du courant électrique dans le corps humain. Certains organes souffrent plus fortement des chocs électriques que d'autres. Le cerveau, les poumons, le cœur, le foie et les reins sont 40 fois moins résistants que la peau.

I-2-3-1. CONDITIONS DE CONTACT

Les contacts avec les pièces nues sous tension peuvent être directs ou indirect, ce qui implique des dommages et des effets sur le corps humain plus ou moins graves. Les effets du courant électrique sont fonction des paramètres intervenant comme facteurs aggravants et dépendent du trajet du courant électrique dans le corps humain. Certains organes souffrent plus fortement des chocs électriques que d'autres. Le cerveau, les poumons, le cœur, le foie et les reins sont 40 fois moins résistants que la peau.

Les effets dépendent également:

- De la **surface de corps en contact** (électrodes) ;
- Des **conditions de ce contact** : peau sèche, humide, mouillée ; pression, température, etc. ;
- Du **trajet parcouru par le courant**, qui varie avec la position des points d'entrée et de sortie.

On définit un facteur de risque pour le cœur, dit facteur de courant de cœur par le rapport du courant « Iref » (passant par le cœur pour un trajet de référence allant de la main gauche aux deux pieds), au courant In pour un trajet donné (tableau I.11).

Tableau I.11: Facteurs de courant de cœur pour différents trajets du courant

<i>Facteurs de courant de cœur pour différents trajets du courant</i>	
Main gauche au pied gauche, droit, ou aux deux.....	1.0
Deux mains aux deux pieds.....	1.0
Main gauche à la main droite.....	0.4
Main droite au pied gauche, droit, ou aux deux.....	0.8
Dos à la main droite.....	0.3
Dos à la main gauche.....	0.7
Poitrine à la main gauche.....	1.5
Poitrine à la main droite.....	1.3
Siège à la main gauche, droite ou aux deux ...	0.7

I-2-3-2. NATURE ET DUREE DU PASSAGE DU COURANT

UN métal est constitué d'atomes. Dans ces atomes, les électrons périphériques sont peu liés au noyau. Ils peuvent quitter leur atome d'origine et passer sur les atomes voisins : on les appelle des

électrons libres. (Figure I.40).

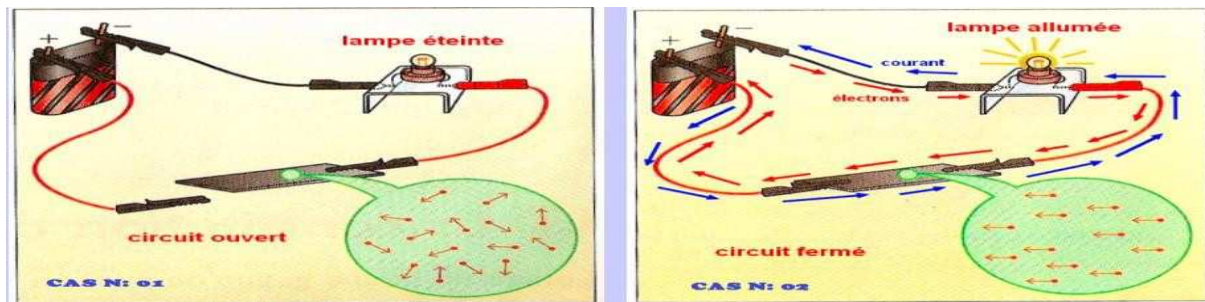


Figure I.40: Nature et durée du Courant Electrique

- **Voir CAS. N°1** : Lorsque le conducteur métallique n'est soumis à aucune tension, les électrons libres de ce conducteur ont un mouvement désordonné : ils se déplacent en tous sens.

- **Voir CAS. N°2**: Lorsque le conducteur métallique est soumis à une tension électrique, les électrons libres ont un mouvement d'ensemble dans le même sens, de la borne - à la borne + du générateur. Le sens de déplacement des électrons est donc opposé au sens conventionnel du courant. En effet, au XIXème siècle, les physiciens, ignorant l'existence des électrons libres, ont choisi arbitrairement un sens pour le courant : le courant va de la borne + à la borne - à l'extérieur du générateur. Dans les métaux, le courant électrique est dû à un déplacement de porteurs de charges négatives : les électrons libres.[13]

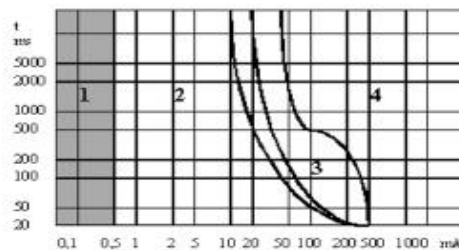
I-2-3-3. ACTIONS PHYSIOPATHOLOGIQUES / CLINIQUES DU COURANT ELECTRIQUE :

I-2.3-3-1. ACTIONS PHYSIOPATHOLOGIQUES DU COURANT ELECTRIQUE

Elle joue un rôle important dans la gravité des électrisations par ses effets excito-moteurs (**Tableau I.12**). L'intensité varie en fonction de la tension du courant et de la résistance. Plus la résistance est grande plus l'intensité et ses effets seront importants pour une tension donnée. Les conséquences des effets physiologiques sont classées en zones:

Tableau I.12 Effets physiologiques de l'intensité du courant électrique -simplifié-

Intensité du courant de choc	Effets physiologiques	Risques	
0,5 mA	Seuil de perception	Pas de risques	
0,5 à 10 mA	Picotements, crispation des muscles	Electrisation: réactions incontrôlées	
25 à 50 mA	Tétanisation des muscles, contraction de la cage thoracique et paralysie respiratoire	Chutes possibles, asphyxie	
75 mA	Fibrillation ventriculaire irréversible, arrêt des battements	Electrocution	
1 A	Arrêt du cœur	Mort instantanée	
La durée du passage du courant de choc est aussi importante dans la définition des risques encourus.			
Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Courant inférieur au seuil de perception, pas de risque	Effet ressenti sans conséquence physiologique dangereuse	Réactions incontrôlées, forte probabilité de contractions musculaires et de difficultés respiratoires	Effets physiologiques importants, risque de fibrillation ventriculaire et brûlures graves



- Zone 1 (0.1 à 0.5 mA): pas de danger;
- Zone 2 (0.5 à 10 mA): perception sans danger;
- Zone 3 (10 à 500 mA): danger asphyxique;
- Zone 4: danger de mort subite.

Le courant électrique est dangereux à partir de **10 mA**. Ceci vient du fait que la fréquence utilisée (50Hz) provoque des excitations musculaires violentes pouvant entraîner la tétanisation.

Cette schématisation nécessite quelques commentaires.

L'application directement sur le myocarde d'un courant électrique d'une intensité de 0.2 mA induit une fibrillation ventriculaire (FV). La sévérité des lésions, d'autant plus importante que la surface de contact est grande, est en rapport avec différents niveaux d'intensité. Cet effet s'arrête dès l'interruption de la source électrique. Ainsi les conséquences seront variables de la simple contraction réalisant un tableau de secousse musculaire et au pire une mort subite. Pour un seuil d'intensité faible la contraction au niveau du membre supérieur touchera les muscles extenseurs entraînant une projection de la victime avec un risque de traumatisme associé; pour une intensité plus élevée ce seront les muscles fléchisseurs qui seront concernés, occasionnant un agrippement à la source d'énergie électrique qui va aggraver cet AE.

Les contractions des diaphragmes, réalisant une véritable tétanisation à l'origine d'une mort subite, se produisent pour un seuil d'intensité élevée; de même la mort subite en rapport avec un laryngospasme. Lors du passage du courant par la région cardiaque le décès peut survenir par FV s'il tombe en période réfractaire partielle du cycle cardiaque. Au-delà de deux ou trois ampères il existe un danger d'inhibition des centres nerveux qui peut persister après l'arrêt du passage du courant et serait responsable d'une perte de connaissance immédiate et de troubles ventilatoires (apnée) d'origine centrale par sidération des centres bulbaires. La traduction clinique de cette sidération variera du simple vasospasme accompagné d'une réaction chrono trope positive jusqu'à la mort subite.[13]

❖ Actions physiologiques et pathologiques

Les actions physiopathologiques du courant électrique ont été décrites dans les publications CEI 479-1 et 479-2. Elles peuvent, très sommairement, être résumées par la figure 2 établie pour les courants alternatifs de fréquences 15 à 100 Hz ; des courbes similaires existent pour le courant continu.

La **figure 1.15** appelle quelques commentaires pouvant se réduire aux points de repères suivants :

- De 0,5 à 2 MA : Seuil de perception sans douleur ;
- De 3 à 5 MA : Début de sensation douloureuse, ou désagréable ;
- De 5 à 8 MA : Effet de choc, risque de contraction réflexe (chute...);
- 10 MA : Seuil dit le non lâcher, crispation des muscles de la main, sans possibilité de lâcher volontaire ;
- 15 MA (plus de 2 s) : Début de risques cardiaques réversibles ;
- 30 MA : Risque d'asphyxie si non rupture, par contraction des muscles commandant la respiration ;
- 50 MA : Risque de déclenchement de la fibrillation suivant le temps de passage.[13]

I-2-3-3-2. ACTIONS CLINIQUES DU COURANT ELECTRIQUE

L'action du courant électrique, selon les paramètres décrits ci avant et également en fonction de la tension, peut entraîner les conséquences suivantes:

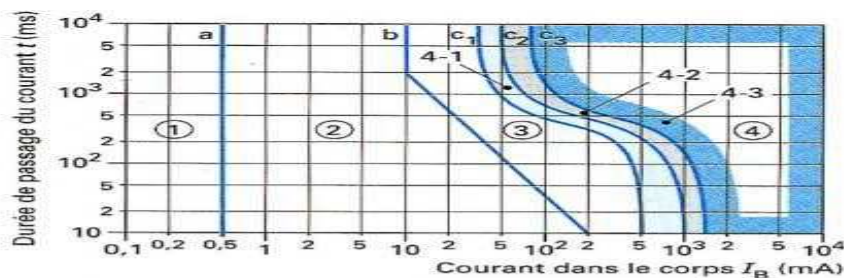
- Secousse, choc électrique, avec retour apparent à l'état antérieur ;
- (Mais l'examen est nécessaire pour déterminer des suites éventuelles) ;
- Asphyxie (pouvant être mortelle) ;

- Fibrillation ventriculaire (mortelle le cas échéant) ;
- Brûlures (mortelles suivant gravité, surtout en haute tension).

Les suites peuvent être diverses:

- Cardio-vasculaires (tachycardie, lésions vasculaires...);
- Neurologiques (pertes de conscience, de force musculaire...);
- Sensorielles (troubles de la vision, de l'audition...);
- Rénales (insuffisance) ;
- Pour les brûlures par arc: dermiques, oculaires (coup d'arc), électrothermiques profondes, thromboses, œdèmes, nécroses, etc.

Tableau I.13: Zones temps courant en tension alternative de fréquences 15 à 100 Hz -en dessous-



En ce qui concerne la fibrillation ventriculaire, cette figure se rapporte aux effets du courant passant de la main gauche aux deux pieds. Les valeurs de seuil pour une durée de passage du courant inférieure à 0,2 s ne sont applicables qu'au passage du courant pendant la période vulnérable du cycle cardiaque.

Zone	Limites de la zone	Effets physiologiques
①	Jusqu'à 0,5 mA (ligne a)	Habituellement aucune réaction.
②	De 0,5 mA jusqu'à la ligne b (1)	Habituellement aucun effet physiologique dangereux.
③	De la ligne b jusqu'à la courbe c ₁	Habituellement aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration pour des durées de passage du courant supérieures à 2 s. Des perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le cœur, y compris la fibrillation auriculaire et des arrêts temporaires du cœur sans fibrillation ventriculaire, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
④	Au-dessus de la courbe c ₁	Augmentant avec le courant et le temps, des effets physiopathologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire en complément avec les effets de la zone ③.
4-1	c ₁ -c ₂	Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5%.
4-2	c ₂ -c ₃	Probabilité de fibrillation ventriculaire jusqu'à environ 50%.
4-3	Au-delà de la courbe c ₃	Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50%.

(1) Pour des durées de passage de courant inférieures à 10 ms, la limite du courant traversant le corps pour la ligne b reste constante et égale à 200 mA.

❖ **Etat de mort apparente**

La complication ultime et immédiate est l'arrêt cardiaque. Plus de 95% des décès dans les suites d'un AE sont dues à une arythmie par dépolarisation massive.

L'atteinte cardiaque directe se traduit par une asystolie ou une FV, le plus souvent lors d'un foudroiement ou par FV avec du CE domestique.

L'atteinte myocardique indirecte relève d'une anoxie suite à une tétanisation des muscles respiratoires ou à un laryngospasme ou par sidération des centres respiratoires bulbaires .

Les autres causes sont représentées par les traumatismes graves associés (crâne) et les effets de blast engendrés par la foudre au niveau d'autres organes (poumon, viscères abdominaux).

❖ Manifestations cardiovasculaires

- Les troubles du rythme : En plus de l'asystolie et de la FV, toutes les arythmies peuvent survenir: Tachycardies supra-ventriculaires, extrasystoles ventriculaires et auriculaires, arythmies complètes par fibrillation auriculaires, les bradycardies. Un espace QT allongé peut se compliquer d'une torsade de pointe ;

- Ischémie myocardique: Les troubles de la re-polarisation non-spécifiques à type de modification du segment ST et de l'onde T peuvent exister et sont réversibles en quelques jours.

- L'angor ou angina-pectoris-electrica qui peut durer plusieurs mois est de symptomatologie atypique (clinique et électro-cardio-graphique) et d'apparition parfois retardée de plusieurs jours ;

- Infarctus du myocarde (IDM): La nécrose peut être trans-murale, diffuse ou localisée.

Les IDM inférieurs sont les plus fréquents mais toutes les localisations sont possibles. La symptomatologie clinique est trompeuse car la douleur typique peut manquer ou être méconnue dans ce contexte hyperalgique. Les signes électriques apparaissent jusqu'à quelques jours après l'accident. Mais l'existence d'un foyer arythmogène sur IDM est potentiellement annonciatrice de la survenue d'une tachycardie ventriculaire dans un délai de 8 à 12 h. La biologie révèle une élévation isolée précoce de l'iso enzyme MB des créatines phosphokinases (CPK MB), qui n'est pas spécifique. Le dosage de la myoglobine est difficile à interpréter dans ce contexte de lésions musculaires associées - la troponine semble être le marqueur biologique le plus spécifique. L'IDM peut être associé à des foyers nécrotiques dans la média ou à des thrombi oblitérant la lumière des artères coronaires. Parfois la scanographie de perfusion ne montre pas de zone hypoperfusée, d'où l'intérêt de la scintigraphie au ^{99m}Tc pyrophosphate, qui confirmera le diagnostic de lésion myocardique.

L'absence de troubles de perfusion myocardique a fait suspecter une action directe du CE sur les cellules myocardiques. Cette notion d'IDM, sans trouble de perfusion myocardique, sous-évalué par l'examen écho-cardiographique, astreint les indications des techniques de reper-métabolisation aux seuls cas où l'angiographie coronarienne est en faveur d'une atteinte vasculaire.

- Péricardite : L'épanchement liquidien est séro-hématique et de quantité variable. Il peut être retardé de quelques heures après un foudroiement. Son abondance fait courir le risque de tamponnade.

❖ Atteintes vasculaires

L'atteinte est fréquente et multiforme. Les vaso-spasmes périphériques et les thromboses artérielles ou veineuses participent à l'installation d'un syndrome des loges (syndrome de **Bywater**) avec une dé-vascularisation progressive par thrombose itérative et ischémie localisée survenant jusqu'au troisième jour après le traumatisme initial. Ces thromboses sont dues à l'action directe du courant électrique sur la paroi vasculaire associée, parfois à des phénomènes d'hypercoagulabilité.

La fragilisation de la paroi vasculaire est responsable d'hémorragies secondaires. Les artères de petits calibres sont plus souvent atteintes. Ces complications artérielles hémorragiques surviennent jusqu'à six semaines après l'accident initial,²⁶ alors que les anévrismes peuvent se développer des mois plus tard.

Un foudroiement peut provoquer une instabilité du système nerveux autonome, avec hypertension artérielle et vasospasme qui disparaissent spontanément.

❖ Manifestations neurologiques

Troubles de la conscience : La perte de connaissance brève est le signe le plus fréquent. L'amnésie et des crises d'épilepsie sont décrites. En fait toutes les fonctions cérébrales peuvent être touchées.

Un coma profond peut être l'expression d'un passage du CE, par l'extrémité céphalique, d'une anoxie ou d'un traumatisme associé.

Une atteinte médullaire signifie un passage du CE ou un traumatisme associé (section).

Les CE à HT sont les plus fréquemment incriminés dans la survenue de ces manifestations graves.

• **Atteintes nerveuses périphériques:** Les lésions intéressent tous les nerfs périphériques mais plus fréquemment: médian, cubital, radial et péronier.

Autres manifestations: Le syndrome de stress post-traumatique existe chez la victime et son entourage. Il se présente sous deux types: syndrome de la douleur régionale complexe (SDRC) type I, correspondant à une dystrophie réflexe sympathique qui se traduit par des douleurs à type de brûlures d'hyper-pathie et d'allo-dynie;

Le SDRC type 2-traduit une atteinte nerveuse individualisée.

❖ Manifestations neurologiques retardées

Elles sont retardées et progressives: Neuropathie périphérique, paresthésie, parésie atrophie optique, dysfonction cérébelleuse, épilepsie, myélite transverse, paraplégie, dépression et troubles de la mémoire et de la concentration/ Les atteintes neurologiques secondaires au foudroiement.

La classification de « Cherington » leur reconnaît quatre grands groupes:

• **Groupe 1** (lésions immédiates et transitoires); il est composé de pertes de connaissance brève, confusion, amnésie, céphalées, paresthésie et asthénie. La paralysie prédominante aux membres inférieurs (kéraunoparalyse de Charcot) s'accompagne de pâleur, d'une vasoconstriction sévère avec diminution des pouls et d'une hypertension artérielle;

• **Groupe 2** (lésions immédiates, prolongées et permanentes); il définit des lésions cérébrales, médullaires et périphériques: - (au niveau du cerveau) encéphalopathie post-arrêt cardiaque, des zones d'infarctissement, un oedème cérébral, une atrophie cérébelleuse, des hématomes; - (au niveau médullaire) myélopathie avec démyélinisation, lésion cordonale; - (les déficits périphériques) destruction des cellules de Schwann (fragmentation axonale), syndrome de compression nerveuse (oblitération vasculaire et fibrose périneuronale);

• **Groupe 3** (lésions retardées et progressives); il intéresse les manifestations à long terme dont les mécanismes physiopathologiques sont méconnus. Ils peuvent survenir plusieurs mois après l'accident initial;

• **Groupe 4** (lésions neurologiques associées); ce sont les pathologies liées aux traumatismes associés: hématomes extraduraux, les hématomes sous-duraux, les hémorragies méningées, section médullaire.

❖ Brûlures

Les mécanismes des brûlures sont plus ou moins associés.

Au contact du Courant électrique le point d'entrée (marque de Jellinek) est marqué par une zone de nécrose marbrée ou blanchâtre, cartonnée, insensible et qui ne saigne pas à la scarification. Cette zone de nécrose est parfois minime en superficie, quelques centimètres carrés, parfois moins, les dégâts les plus importants étant situés sous la peau. Ce point d'entrée est parfois entouré d'une zone de profondeur variable, deuxième degré profond, généralement due à l'inflammation des vêtements par un flash qui accompagne le passage du courant. Les lésions engendrées sont le plus souvent plus graves que ne le laisserait croire l'atteinte cutanée. L'œdème lésionnel va gonfler le muscle entraînant rapidement une nécrose de pression par syndrome des loges, qui est le résultat, comme dans le crush syndrome, d'une augmentation de la pression (supérieure à 30 mm Hg) dans une loge aponévrotique inextensible.

Les zones nécrotiques peuvent coexister avec une conservation des pouls périphériques et évoluent pendant la première semaine après le traumatisme. Au-delà, on observe des foyers de proliférations fibroblastiques et de résorption des tissus dévitalisés, l'évolution se faisant spontanément vers une fibrose séquellaire. La production de radicaux libres va aggraver ces lésions musculaires. Le point de sortie est le plus souvent circonscrit, sous forme d'une petite zone de nécrose blanche ou grise, sorte de petite ulcération au niveau des membres inférieurs, de la plante des pieds surtout; là aussi les lésions sont en profondeur.

Entre ces marques de « **Jellinek** », le passage du courant est susceptible d'engendrer des lésions en fonction des résistances rencontrées au niveau des différents tissus, avec préférentiellement les trajets vasculo-nerveux.

La dernière cause secondaire est l'infection, qui peut survenir à bas bruit avec une sérieuse probabilité de prolifération de germes anaérobies.

Les brûlures par flash provoquent des lésions souvent étendues et profondes. Elles sont aggravées par une ignition des vêtements de la victime. Identiques aux autres brûlures thermiques, au delà de 10% de la surface corporelle brûlée (SCB), elles menacent le pronostic vital par hypovolémie à la phase aiguë.

La fusion de métaux (collier, bague, bracelet, fermeture éclair) peut donner des lésions de brûlures profondes.

Une brûlure de la commissure labiale suite à une morsure de prise de CE, chez un enfant, présente un risque de séquelles fonctionnelles et une chute d'escarre potentiellement hémorragique pouvant survenir entre le 5ème et le 9ème jour, parfois jusqu'à deux semaines. Le foudroiement réalise une lésion pathognomonique: la figure de Lichtenberg (suffusions hémorragiques sousépidermiques). On observe sur la peau de petites macules rosées, fixes, ne disparaissant pas à la pression, dessinant des arborescences en feuille de fougère au point de fulguration.[14]

❖ Manifestations pulmonaires

L'arrêt respiratoire par tétanisation se produit pour des CE de 20 à 30 mA.

Toutes les autres lésions pulmonaires sont secondaires au CE de HT: destruction de la paroi thoracique, œdème pulmonaire hémodynamique ou lésionnel pouvant évoluer vers un syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA), lésions pleurales avec hydrothorax, ruptures bronchiques et pneumothorax qui peut être suffoquant, atelectasies et infarctissement.

L'inhalation de produits de combustion de matériaux avec une intoxication au monoxyde de carbone et les traumatismes associés cause des lésions secondaires.

La fulguration par effet de blast peut engendrer des lésions hémorragiques et des contusions pulmonaires.

Ces atteintes pulmonaires peuvent connaître une période de latence et se révéler tardivement jusqu'à deux semaines.

❖ Manifestations digestives

L'iléus paralytique est un symptôme habituel dont il faut rechercher une cause profonde s'il persiste au delà de 48 h. Le contact direct d'un CE de HT peut se compliquer de nombreuses lésions: ulcérations gastroduodénales, perforations intestinales, fistulisations, nécrose ou perforation de la vésicule biliaire, pancréatite aiguë et nécrose hépatique. Les lésions peuvent également succéder à un traumatisme associé.

❖ Manifestations traumatologiques

Toute impotence fonctionnelle doit faire rechercher des fractures ou luxations: 42,43 rachis, tête humérale, articulation du poignet, tête fémorale. Ces lésions font suite à une tétanisation des muscles ou à une projection de la victime.

La destruction osseuse est secondaire à l'électrothermie ou à une dé-vascularisation périostée. Ces lésions osseuses en cas de blast se produisent même en l'absence de tétanisation ou de projection (arc en HT, fulguration).

I-2-4. IMPEDANCE DU CORPS HUMAIN

L'impédance présentée par un corps humain au passage du courant dépend, en dehors des caractères propres à chaque personne, d'une part de la tension (en raison de la résistance de la peau, qui s'annule au-delà d'un certain seuil) et, d'autre part des conditions d'environnement, susceptibles de réduire cette résistance : la présence d'eau, en particulier, et la résistance des sols et des parois avec lesquels les personnes sont en contact et par l'intermédiaire desquels la boucle de défaut (trajet total du passage de courant entre le générateur et la personne) se ferme.

On se reportera, pour davantage de développements, à l'article référencé. Généralement, on estime qu'il y a trois situations caractéristiques d'environnement :

- La situation normale, correspondant aux emplacements secs ou humides, la peau étant sèche (en tenant compte de la présence éventuelle de sueur), le sol présentant une résistance importante (1 000 Ω au moins) ;

- La situation particulière, les personnes se trouvant exposées à des conditions particulières d'humidité, par exemple dans les locaux mouillés, la peau étant mouillée et le sol présentant une résistance faible (de l'ordre de 200 Ω) ;

- La situation immergée, lors de laquelle on ne peut plus compter sur la résistance de la peau et du sol.

Ces trois situations caractéristiques se traduisent par des conditions de temps de coupure du courant, par les dispositifs de protection (pour les deux premières) ou par des mesures de sécurité particulières telles que la très basse tension de sécurité limitée à 12 V (pour la troisième).[14]

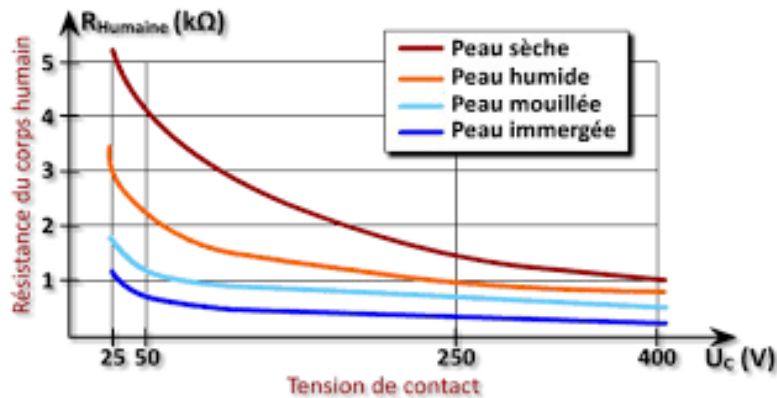


Figure I.41 : Variation de la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et de l'état de la peau

L'impédance de la peau varie pour chaque individu en fonction, essentiellement, des paramètres suivants :

- La **surface de contact** : La résistance cutanée est d'autant plus faible que la surface de contact est grande ;
- La **pression de contact** : La résistance cutanée est d'autant plus faible que la pression de contact est grande ;
- La **tension de contact** : La résistance cutanée est d'autant plus faible que la tension est élevée ;
- L'**état d'humidité et de sudation de la peau** : Une peau humide (ex : par la sueur) a une résistance bien plus faible qu'une peau sèche ;
- Le **temps de passage du courant** : La résistance cutanée augmente durant 1 à 4 millisecondes puis disparaît dès le « claquage » de la peau ;
- L'**état physiologique de la personne** : La morphologie de l'individu.

D'autres paramètres tels que l'état de fatigue, le poids, la taille, sont des paramètres variables très difficile à évaluer avec précision.

La résistance du corps humain varie en fonction de l'état de la peau (sèche, humide, mouillée) et de la tension de contact la résistance du milieu interne est relativement fixe : 750 ohms (mains-pied) et 500 ohms (main-main).

I-2-5. SEUILS DE DANGER DU COURANT ELECTRIQUE:

Le courant agit sur le corps de trois façons différentes:

- Par blocage des muscles ou la « **tétanisation** », que ce soit ceux des membres ou de la cage thoracique ;
- Par brûlures : Selon la valeur du courant, l'électricité produit par ses effets thermiques des lésions tissulaires plus ou moins graves ;
- Par action sur le cœur: L'électricité provoque une désorganisation complète du fonctionnement du cœur, connue sous le nom de « **fibrillation ventriculaire** ».

L'effet provoqué par le courant électrique sur le corps humain dépend principalement de son intensité et d'autres paramètres liés au corps humain (résistance, surface de contact,...) et à son environnement (humidité) lors de l'accident électrique.

Les différents facteurs influent sur la sensibilité et les effets du passage du courant électrique dans le corps humain. Ce sont les caractères propres à l'individu, la nature et la durée du passage du courant et les conditions de contact que l'on peut spécifier comme suit:

- L'intensité du courant,
- L'impédance du corps humain,
- La tension du courant,
- La fréquence du courant,
- Le temps de contact,
- Le trajet du contact.

A cela s'ajoute :

- L'âge de la personne,
- Son poids,
- Son sexe,
- Ses caractéristiques physiologiques personnelles.

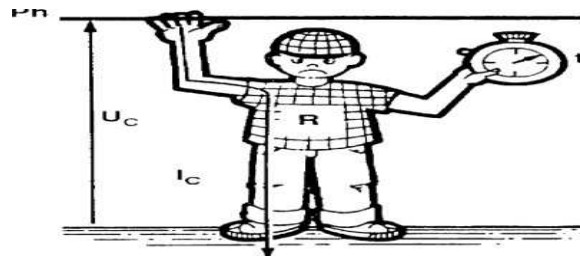


Figure I.42: Seuils de danger du courant électrique

C'est la quantité d'électricité qui conditionne l'effet produit par le courant électrique dans le corps humain.

I-2-5-1. SEUIL DE PERCEPTION DU COURANT ELECTRIQUE

Le Seuil de perception du courant électrique est très variable d'une personne à l'autre, 0,5 mA peut être considéré comme une valeur moyenne.

Tableau I.14 : Seuils de perception

Intensité du courant	Constatations
~1 Ma	▪ Excitation des terminaisons nerveuses sensibles
	▪ Sensation de picotement ou de choc léger
>3 Ma	▪ Sensation de douleur

I-2-5-2. SEUIL DE TETANISATION:

Correspond aux contractions musculaires qui commence à partir de 10 mA. Cette valeur dépend de l'âge, du sexe, de l'état de santé, du niveau d'attention... La téτανisation a pour effet d'empêcher à la personne de lâcher le conducteur, ce qui peut conduire à des conséquences plus graves en fonction de la durée du passage du courant. De ce fait, la résistance du corps s'affaiblie et l'intensité du courant augmente en conséquence, ce qui peut faire évoluer la situation vers la téτανisation des muscles respiratoires, d'où difficultés et l'arrêt respiratoire par asphyxie ventillatoire qui se produit pour des courants de 20 à 30 mA

Tableau I.15: Seuils de téτανisation

Intensité du courant	Constatations
~10 Ma	▪ Contraction des muscles traversés par le courant
	▪ Impossible de lâcher prise (fléchisseurs des avant-bras)
	▪ Projection (extenseurs)
~25 Ma	▪ Téτανisation des muscles respiratoires
	▪ Plus de 3 minutes = asphyxie ventillatoire

I-2-5-3. SEUIL DE FIBRILLATION VENTRICULAIRE :

Se produit à partir de 75 mA :

Tableau I.16 : Seuil de fibrillation ventriculaire

Intensité du courant	Constatations
~75 mA	▪ Fibrillation ventriculaire
	▪ Mène à l'électrocution à moins d'une défibrillation (et être maintenu en vie jusqu'à ce moment-là)

I-2-5-4. SEUILS DE BRULURE:

Commence à 100 mA ~100 mA (danger)

Tableau I.17: Seuils de brûlure

Intensité du Courant	Constatations
~100mA (danger)	▪ Effet Joule: $E_{thermique} = RI^2 t$
	▪ Destruction de la peau
	▪ Destruction des tissus en profondeur: muscles, nerfs, vaisseaux sanguins et viscères
	▪ Amputation
	▪ Déchets de combustion peuvent entraîner une insuffisance rénale mortelle

I-2-5-5. SEUIL DE L'ARRET CARDIAQUE :

Le seuil de l'arrêt cardiaque se situe aux alentours de 1 A (**danger**), il donne lieu à un « Arrêt du cœur »

I-2-5-6. SEUIL DE L'INHIBITION DES CENTRES NERVEUX :

Le seuil de l'inhibition des centres nerveux se situe à 2 A (**danger**), il donne lieu à une « Inhibition des centres nerveux »

- ~2 A (**danger**) - Inhibition des centres nerveux

D'autres risques et dommages peuvent être subits par le corps humain. Ainsi, un court-circuit peut notamment provoquer :

- Des brûlures par projection de matière en fusion ;
- Un rayonnement ultraviolet intense ;
- In dégagement de gaz toxique ;
- Un incendie, une explosion [1].



Figure I.43: Seuils de danger du courant électrique alternatif.

I-2-6. EFFETS DU COURANT ELECTRIQUE SUR L'HOMME

En fonction de l'action directe et indirecte du courant électrique, de la nature de contact (direct ou indirect) et du domaine d'activité dans lequel survient l'accident (milieu domestique, travail, loisir...), les effets de l'action du courant électrique sur l'homme sont soit immédiats ou secondaires.

I-2-6-1. EFFETS IMMEDIATS

- ❖ Effets excito-moteur

ILS ne proviennent qu'à la faveur d'une variation de courant, provoquant l'excitation des muscles et des nerfs (voir figure I.60)

Les seuils de danger du courant continu sont légèrement décalés par rapport au courant alternatif et pour d'autres indéterminés.

Bien que le risque de fibrillation cardiaque soit 3,75 fois plus petit, les brûlures sont plus profondes. Les moments de la mise sous tension et la coupure du courant sont les plus dangereux. De plus, le passage du courant continu dans le corps humain provoque un phénomène d'électrolyse. [13]

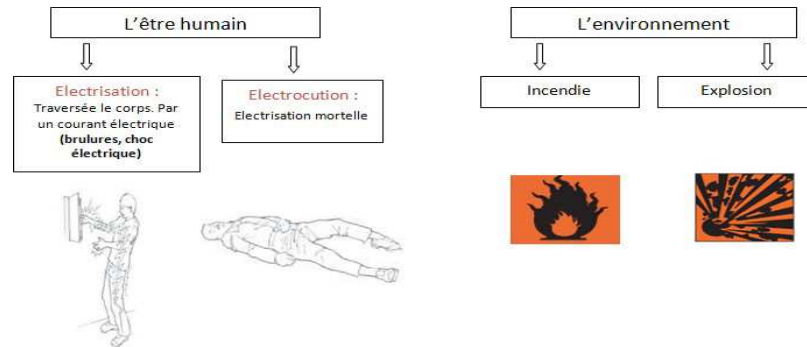


Figure I.45: Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain

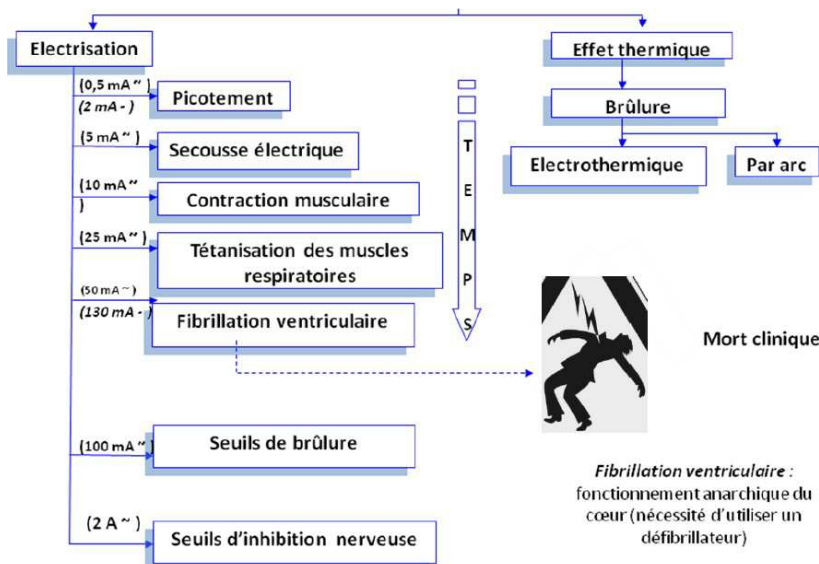


Figure I.46: Principaux effets du courant électrique sur l'homme

• Secousse électrique

Le résultat de la contraction du muscle provoquée par une excitation unique et brève, produite suite à l'application d'un courant (continu ou alternatif 50Hz) à un muscle. Ceci peut entraîner des dangers secondaires tels que le réflexe de lâcher un outil, de saisir une chose qui peut représenter un danger pour la victime.

• Contraction musculaire

Si l'on interrompt rythmiquement le passage du courant continu dans un muscle, on observe une série de secousses successives qui se rapprochent quand la fréquence des interruptions s'élève.

Lorsque le muscle n'a plus le temps de se décontracter (par exemple avec du courant de 50 Hz), c'est le phénomène de contracture. Selon que le trajet du courant intéresse les muscles Fléchisseurs (Avant- bras) ou extenseurs (Bras), nous aurons des conséquences différentes.

L'organigramme de la figure I.47 Schématise les effets de la contraction musculaire.

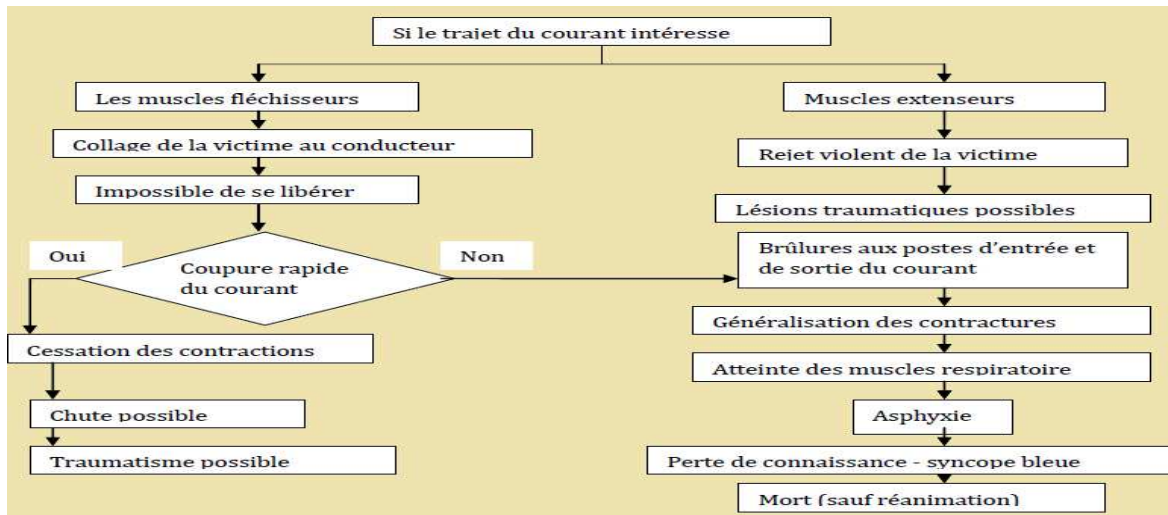


Figure I.47: Les effets de la contraction musculaire

• **Tétanisation des muscles respiratoire**

La téanisation ne peut s’observer que lorsque le trajet du courant intéresse les muscles respiratoire (intercostaux, pectoraux et diaphragme).

L’organigramme de la figure I.48 schématise les effets de la téanisation des muscles respiratoire.

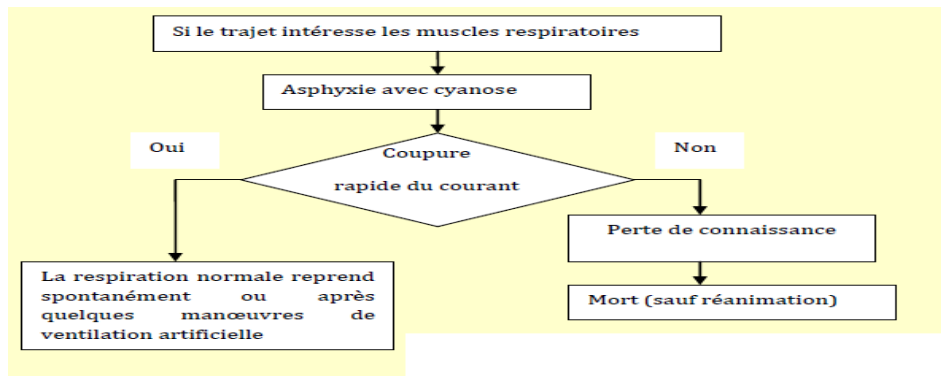


Figure I:48: Les effets de la téanisation des muscles respiratoire

Cyanose: (coloration bleu de la peau due à une oxygénation insuffisante du sang (anoxémie).

• **Fibrillation ventriculaire**

Peut s’observer lorsque le trajet du courant passe par le muscle cardiaque. C’est une désorganisation du parfait synchronise de contractions des fibres musculaires (myocarde) qui assure le fonctionnement du cœur.

Dans la fibrillation ventriculaire, chaque fibre se contracte pour son propre compte, ce qui aboutit à une inefficacité totale, donc l’équivalent d’un arrêt circulatoire et à des lésions anoxiques en aval, plus particulièrement au niveau du cerveau (extrêmement sensible au manque d’oxygène). Des lésions irréversibles apparaissent si la durée de l’anoxie (diminution ou la suppression de l’oxygène dans le sang) atteint ou dépasse 3 minutes environ.

L’organigramme de la figure I.49 schématise les effets de la fibrillation ventriculaire.

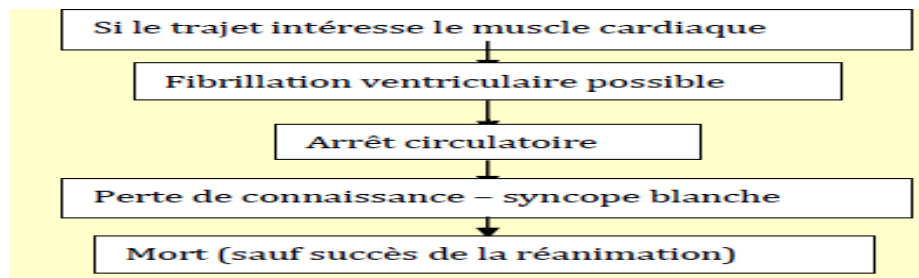


Figure I.49: Les effets de la fibrillation ventriculaire

La fibrillation ventriculaire, qui peut suivre l'électrisation, est un état transitoire de l'organisme, dit état de mort apparente qui correspond à un rythme de fonctionnement anarchique du cœur sous l'effet de passage du courant électrique de faible intensité de l'ordre de quelques milliampères (voir *figure I.48*).

Ce régime cardiaque perturbé du cœur peut se prolonger si l'arrêt définitif du cœur se produit s'il n'y a pas d'intervention extérieure de réanimation (ventilation artificielle, massage cardiaque) permettant le maintien de la survie en attendant l'arrivée des secours médicalisés d'urgence.

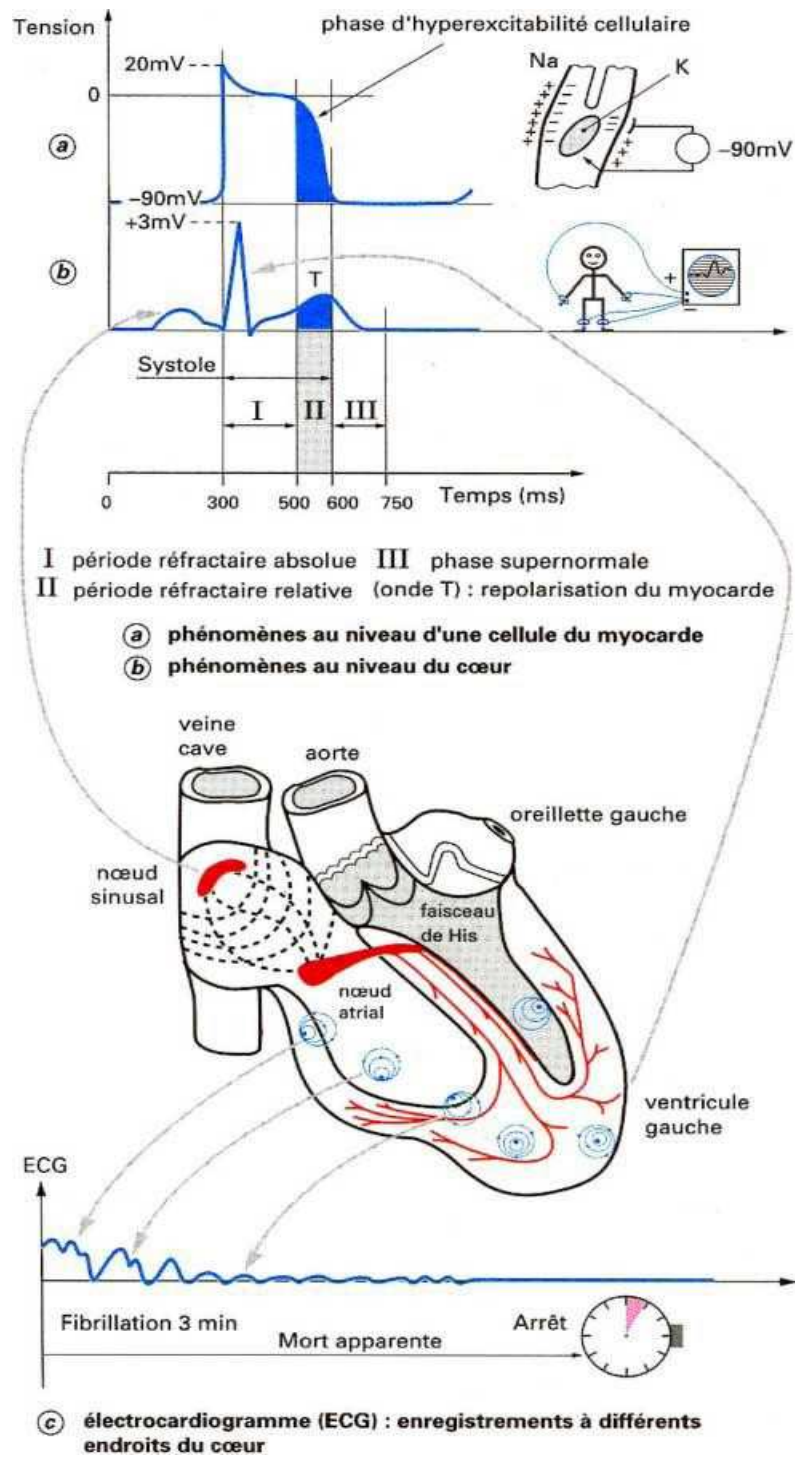


Figure I.50: Fibrillation Ventriculaire (D'après Dr Foliot)

• Inhibition des centres nerveux

Ne peut avoir lieu que si un courant très important passe par le bulbe rachidien.
L'organigramme de la figure I.51 schématise les effets de l'inhibition des centres nerveux.

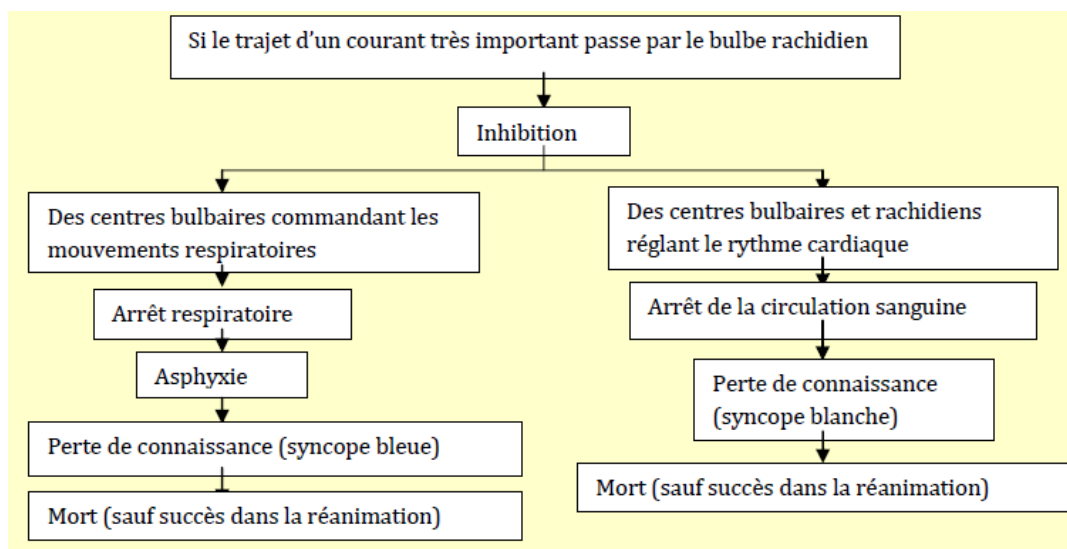


Figure I.51: les effets de l'inhibition des centres nerveux

❖ Effets thermiques

• Brûlures électrothermiques

Sont provoquées par l'énergie dissipée par effet joule tout le long du trajet du courant.

Ces brûlures aboutissent à des nécroses (mort d'une cellule ou mortification) internes situées plus particulièrement au niveau des muscles, il en résulte ainsi le blocage des reins qui n'arrivent pas à éliminer les grandes quantités de myoglobine et d'hémoglobine (pigment de globule rouge assurant le transfert de l'oxygène et du CO₂ entre l'appareil respiratoire et les cellules de l'organisme) qui les envahissent après avoir quitté les muscles atteints.[15]

• Brûlures par arc

Sont des brûlures thermiques dues à l'intense chaleur dégagée par effet joule, au cours de la production de l'arc électrique. Elles sont superficielles (cutanées) localisées aux parties découvertes (face, mains). [15]

ARC ELECTRIQUE 380V Agent Schneider brûlé au 3^{ème} degré



Figure I.53: Exemple d'accident

**Arc électrique armoire BT de puissance:
Jeu de barres partiellement fondu
Technicien sérieusement brûlé au visage et aux mains**

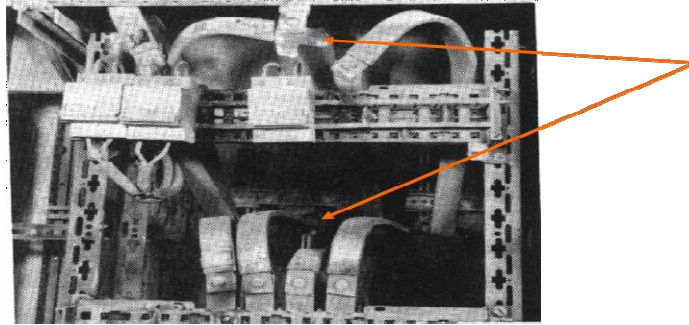


Figure I.54: Exemple d'accident

I-2-6-2. EFFETS SECONDAIRES

Sont traités dans les effets secondaires les troubles, complications et séquelles qui peuvent apparaître avec un temps de latence plus ou moins long (jours, mois, années). [16]

❖ Complications cardio-vasculaires

Quand le trajet du courant intéresse le trajet cardiaque, on peut constater des troubles et lésions qui peuvent survenir dans les semaines qui suivent l'accident.

L'organigramme de la figure (I.54) schématise les complications cardio-vasculaires.

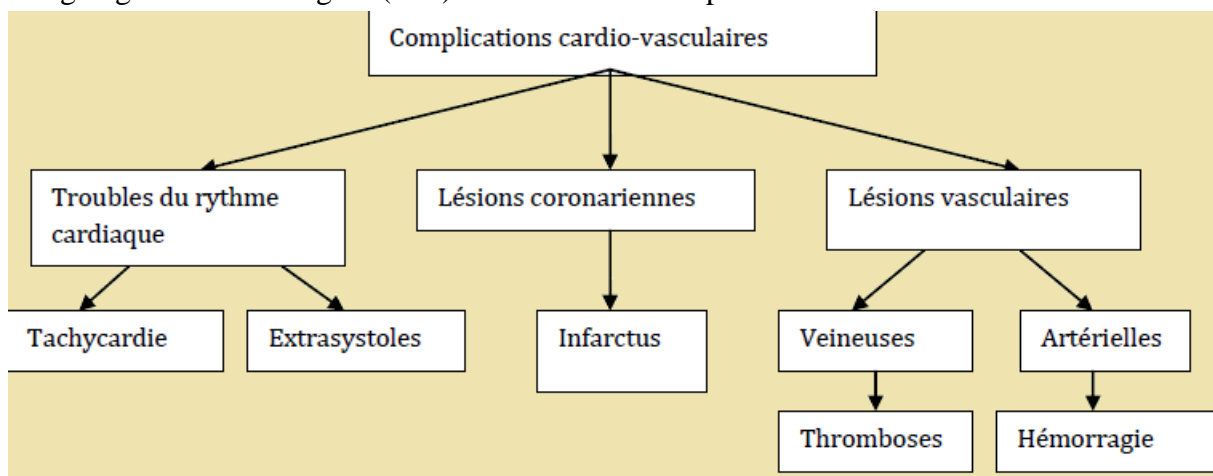


Figure I 55: Les complications cardio-vasculaires

- **Tachycardie:** Accélération du rythme cardiaque ;
- **Extrasystole:** Contraction prématurée du cœur ;
- **Coronarienne:** Les artères coronaires naissant de l'aorte ;
- **Infarctus:** La lésion nécrotique des tissus due à un trouble circulatoire et s'accompagnant le plus souvent d'une infiltration sanguine par oblitération d'un vaisseau ou par embolie.
- **Thrombose:** Formation de caillots dans un vaisseau sanguin.

❖ Complications neurologiques

Les Complications neurologiques sont de type:

- Troubles organiques ;
- Troubles psychiques et psychonévropathiques.

L'organigramme de la figure (I.56) schématise les complications neurologiques.

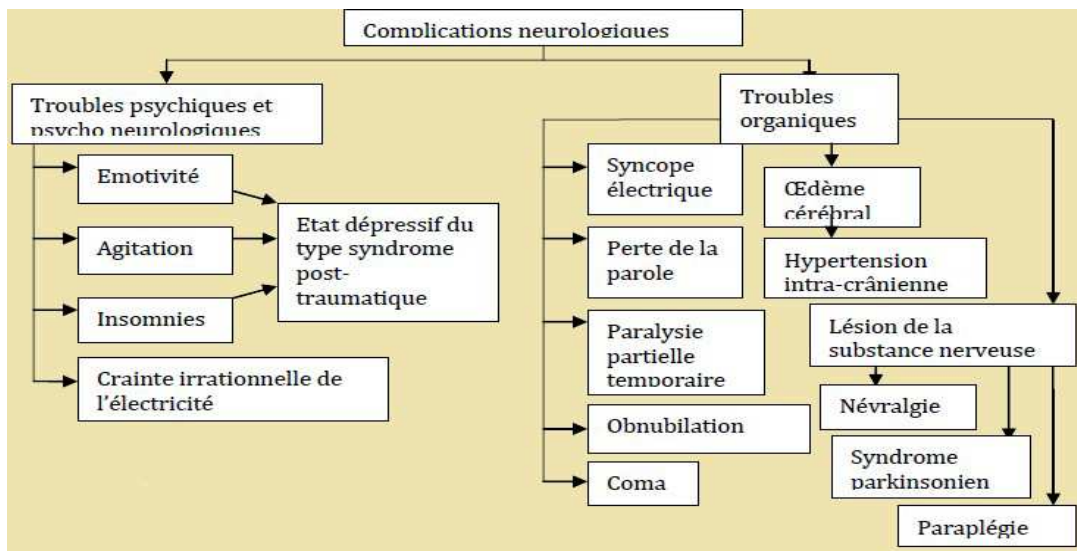


Figure I.56: Les complications neurologiques

Névrose : Affection caractérisée par des conflits qui inhibent les conduites sociales et qui s'accompagne d'une conscience pénible des troubles (l'hystérie, névrose obsessionnelle, la névrose phobique, la névrose angoisse) ;

- **Obnubilation**: Obscurcissement de la conscience, accompagné d'un ralentissement des processus intellectuels
- **Névrалgie**: Douleur vive ressentie sur le trajet d'un nerf, les complications neurologiques.

❖ **Complications rénales**

Sont toujours la conséquence des brûlures électrothermiques. L'organigramme de la figure (I.57) schématise les complications rénales

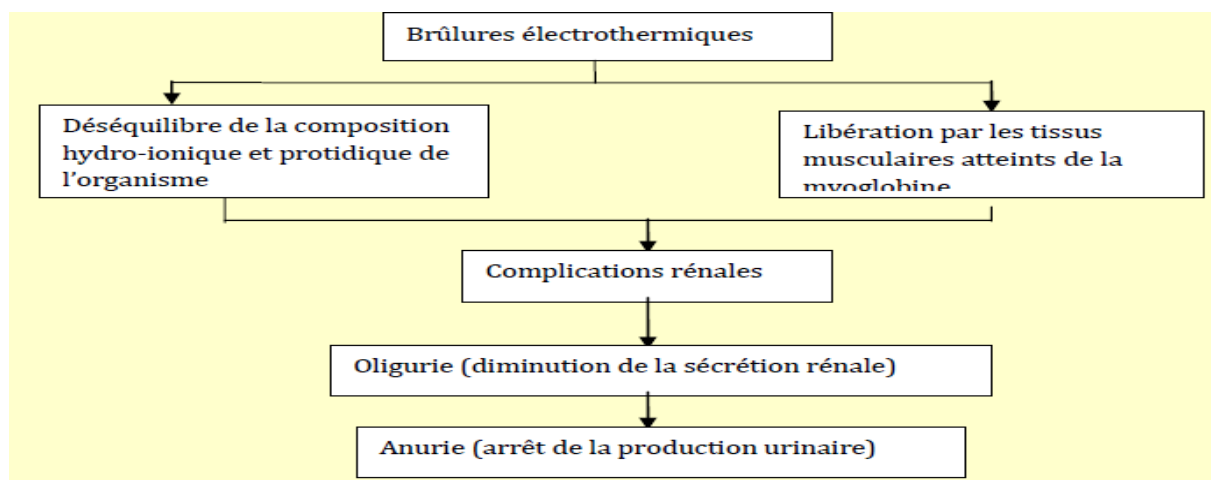


Figure I.57: les complications rénales

❖ **Séquelles sensorielles**

Sont essentiellement observées lorsque l'arc électrique ou le trajet du courant dans l'organisme intéresse la tête, il s'agit plus souvent de troubles oculaires, plus rarement de troubles auditifs.

L'organigramme de la figura I.78 schématise les séquelles sensorielle.

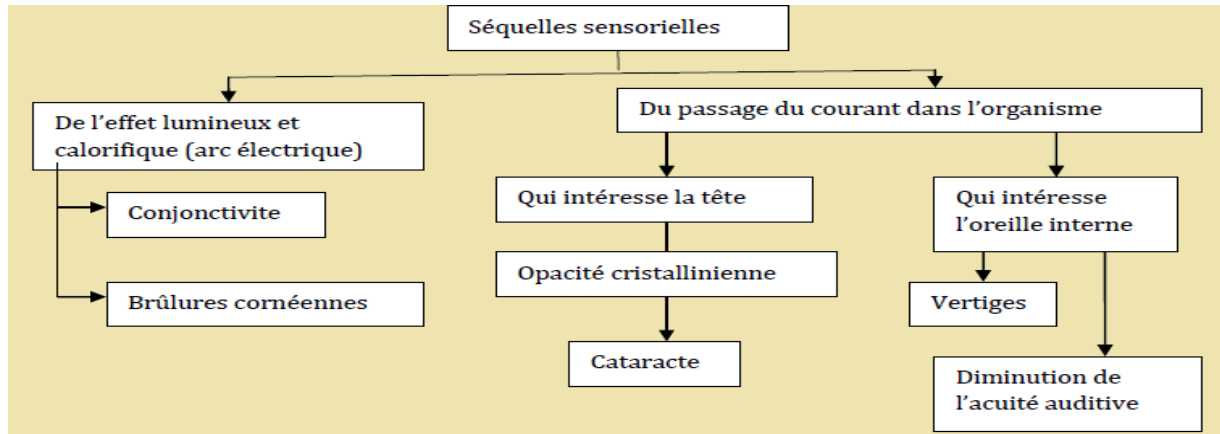


Figure I.58: les séquelles sensorielles

❖ Séquelles cutanées, tendineuses et muqueuses

Par suite de brûlures électriques, les lésions, situées le plus souvent au niveau des mains ou des bras, laissent persister :

- Des cicatrices vicieuses avec troubles vasomoteurs,
- Des rétractions des tendons entraînant parfois une gêne fonctionnelle importante.[16]

I-2-7. EFFETS DU COURANT ELECTRIQUE SUR LE MATERIEL

Dans l'environnement électromagnétique d'un équipement, nous pouvons distinguer les sources de perturbations d'origine naturelle et les sources de perturbations qui tiennent à l'activité humaine dont nous pouvons citer:

Les Sources de perturbation d'origine naturelle:

- La foudre (décharge électrostatique entre nuages ou entre nuage et sol) ;
- Les rayonnements cosmiques et en particulier solaires.

Les sources de perturbation qui découlent de l'activité humaine:

- Les sources de rayonnement électromagnétique volontairement créées par l'homme (émetteurs radio, télévision, radar, téléphones portables, etc.);
- Les sources de perturbation involontaires qui proviennent de l'utilisation de l'électricité (lignes de transport de l'énergie, éclairage fluorescent, moteurs électriques, alimentations des systèmes électroniques, etc.).

Le fonctionnement de certains systèmes électrique ou électronique peut être perturbé par l'environnement électromagnétique dans lequel il opère. Nous citons à titre d'exemple quelque effet important:

- Panne d'allumage moteur ;
- Perturbation voir explosion d'équipements électriques ou électroniques ;
- Fausse détection radar ;
- Boussole affolée ;
- Perturbation des fréquences radio et TV (parasites). [17]

I-2-8. EFFETS D'ACCIDENTS ELECTRIQUES SELON LE DOMAINE DE TENSION :**I-2-8-1. TENSION DU COURANT ELECTRIQUE (volt : V)**

La tension électrique est le facteur qui provoque le passage du courant électrique à travers le corps humain.

Pour éviter tout choc électrique (effet tétanisant ou de stimulation), certains appareils électriques ont un voltage spécifique selon les conditions de travail.

La tension limite de sécurité pour le courant alternatif est fixée à:

- 12 V : milieu immergé dans l'eau
- 25 V : milieu humide
- 50 V : milieu sec

Tableau I.18: Domaine de tension

DOMAINE DE TENSION	COURANT ALTERNATIF	COURANT CONTINU
TBT	$U \leq 50$ volts	$U \leq 120$ volts
BTA	$50 < U \leq 500$ v	$120 < U \leq 750$ v
BTB	$500 < U \leq 1000$ v	$750 < U \leq 1500$ v
HTA	$1000 < U \leq 50$ kV	$1500 < U \leq 75$ kV
HTB	$U > 50$ kV	$U > 75$ kV

I-2-8-2. DOMAINE DE TENSION EN ALTERNATIF

- En dessous de 50 V: absence d'accident mortel
- Entre 50 V et 500V: grand pourcentage de fibrillation cardiaque
- Entre 500V et 1000V: syncopes respiratoires et brûlures
- A partir de 1000V: brûlures internes de type hémorragique (blocages des reins).[12]

I-2-8-3. DOMAINE DE TENSION EN CONTINU

- En dessous de 120V : absence d'accident mortel ;
- Entre 120V et 750V : effets d'électrolyse et brûlures par effet joules ;
- A partir de 750V: brûlures internes et externes. [12]

I-2-9. Effets du courant électrique sur l'environnement

❖ **Incendies**

30 % des incendies sont d'origine électrique. Les principales causes sont:

- L'échauffement des câbles dû à une surcharge
- Le court-circuit entraînant un arc électrique ;
- Un défaut d'isolement conduisant à une circulation anormale du courant entrerecepteur et masse ou entre récepteur et terre ;

• Des contacts défectueux (de type connexion mal serrée ou oxydée) entraînant une résistance anormale et un échauffement ;

- La foudre.

Certains facteurs peuvent aggraver les échauffements :

- Une ventilation insuffisante.
- L'accumulation de poussières ou de dépôts de graisse.
- Le stockage de matériaux inflammables à proximité d'installations électriques.
- L'empilage des câbles empêchant l'évacuation de la chaleur.

❖ Les explosions

Dans les zones à risque d'explosion, les installations électriques, aussi bien de puissance que de commande, constituent une source potentielle d'inflammation pour l'atmosphère explosible. Afin de réduire ce risque, ces installations sont réduites au strict minimum. De plus le matériel électrique utilisé dans ces zones respecte des conditions de construction, montage et fonctionnement définies dans des normes. *Figure I. 59*



Figure I. 59: Explosion d'origine électrique

I-2-10. PRINCIPALES CAUSES DU RISQUE ELECTRIQUE

Les accidents du travail d'origine électrique sont rares mais souvent graves. Certains secteurs d'activité y sont particulièrement exposés comme les métiers du bâtiment, des travaux publics et de la métallurgie. Potentiellement, les accidents électriques peuvent se produire sur tout lieu de travail comprenant une installation électrique. Les principaux facteurs de risque d'accidents électriques dans le domaine professionnel sont la mauvaise utilisation du matériel, la détérioration des outils et des isolants, le non-respect des consignes et des distances de sécurité, et des compétences inadéquates aux tâches à exécuter.

❖ Les principales causes

Les principales causes du risque électrique:

1. Mauvaise connaissance du travail à effectuer

C'est une des raisons les plus fréquentes des actes imprudents. C'est aussi, pour l'Agent de Maîtrise, un des défauts les plus faciles à détecter. En dehors du niveau professionnel nécessaire pour exécuter certaines tâches, il est important de définir clairement: Ce qui doit être obtenu, La meilleure façon de procéder, Les risques qui peuvent accompagner l'exécution du travail, les moyens de les prévenir.

Troisième partie
Prévention contre les risques électriques

Chapitre I

Enseignements de la prévention des électriques

I-1. INTRODUCTION

Le risque est une notion difficile à cerner mais de façon générale, on peut dire que c'est une contingence indésirable, appréhendée, relativement anodine et peu probable.

Par appréhendée, on entend par là que le risque est connu au préalable. L'exposition au risque résulte donc souvent d'une démarche consciente, appelée prise de risque. En ce sens, le risque se distingue par exemple de l'aléa ou de l'incident, qui surviennent en général de façon imprévue.

Le risque est généralement anodin, mais tout de même suffisamment nuisible pour être indésirable. En ce sens, il se distingue notamment du danger, qui suppose la possibilité d'un dommage grave (notamment la mort). On dira par exemple de quelqu'un qui sort tête nue par temps froid qu'il court le risque d'attraper un rhume, tandis qu'on dira qu'il se met en danger s'il traverse une rue sans regarder.

Un risque est une contingence peu probable, ce qui constitue une autre différence par rapport au danger. On parle en effet de danger lorsque la probabilité d'occurrence et les conséquences sont importantes, tandis que le risque existe dès lors que sa probabilité d'occurrence n'est pas nulle.

L'appréciation de ces différents critères est hautement subjective, ce qui peut justifier que dans les domaines scientifiques et techniques une définition quantifiable et plus rigoureuse du risque a été recherchée.

De tout temps, les être humains ont été en permanence confrontés à des accidents corporels ou non, légers ou graves, à des événements et phénomènes de grande ampleur qui les ont profondément marqués. Parmi ces accidents, ceux qui ont été les plus importants par le nombre de victimes et les dégâts causés sont appelés majeurs et sont souvent restés dans la mémoire de l'humanité, plusieurs générations, voire plusieurs siècles après ; on les appelle également catastrophes, par suite de la gravité de leurs conséquences sur les hommes et l'environnement.

Ces accidents à caractère catastrophique sont soit des phénomènes naturels sismiques, volcaniques, climatiques et météorologiques, soit encore des événements provoqués directement ou indirectement par les hommes, appelés technologiques, tels que les accidents de barrages et de tunnels et ceux dérivant des activités industrielles.

Généralement, lorsqu'il s'agit de phénomènes naturels, on parle volontiers de catastrophes naturelles, mais lorsqu'ils sont provoqués par les hommes, alors on parle d'accidents technologiques majeurs ou catastrophiques.

A l'origine de tout accident, même mineur, il existe un risque ou un danger, qui, sous certaines conditions, conduit aux accidents. Les risques majeurs ou hauts risques sont à l'origine des accidents majeurs.

Parmi ces accidents majeurs, un grand nombre est d'origine industrielle et a pour siège, les usines et les ateliers de fabrication et de stockage. Certains accidents majeurs apparaissent lors du transport de matières dangereuses mais, comme les transports de produits font partie intégrante des processus industriels, ils seront traités comme des accidents industriels majeurs.

Globalement, on distingue deux classes de risques :

- Les risques industriels majeurs proprement dits qui se traduisent par des accidents industriels majeurs ;
- Les risques professionnels qui se traduisent par des accidents de faible importance, avec un nombre limité de victimes et des dégâts ne dépassent pas le cadre de l'atelier ou de l'usine ; ce sont les accidents de travail et, dans une certaine mesure, les maladies professionnelles ou à caractère professionnel.

I-1. IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION DES RISQUES SUR LE LIEU DE TRAVAIL

Avant toute enquête d'hygiène du travail, l'objectif à atteindre doit être clairement défini. Il peut s'agir d'identifier les risques éventuels, d'évaluer les risques existants, de vérifier la conformité du lieu de travail avec la réglementation, de jauger les moyens de prévention ou encore de mesurer l'exposition aux fins d'une étude épidémiologique.

De nombreux modèles et de nombreuses techniques ont été mis au point pour identifier et évaluer les risques en milieu professionnel. Ils varient en complexité, allant de simples listes de contrôle jusqu'à des profils d'exposition et des programmes de surveillance du travail, en passant par des enquêtes préliminaires d'hygiène du travail, des matrices emploi-exposition et des études du risque et de la sûreté de fonctionnement des équipements.

Aucune technique particulière ne s'impose comme étant la seule valable et toutes présentent des aspects utiles à l'investigation. L'utilité des modèles dépend en outre de l'objectif de la recherche, de la taille du lieu de travail, du type de production et d'activité, ainsi que de la complexité des opérations.

L'identification et la classification des risques peuvent se diviser en trois grands éléments:

- La caractérisation du lieu de travail ;
- Le mode d'exposition ;
- ET l'évaluation qualitative des risques.

I-2. ANALYSE DES RISQUES PROFESSIONNELS

I-2-1. RISQUE (selon Petit Larousse illustré 1989)

« **Risque** »: Danger, inconvénients plus ou moins probable auquel on est exposé. Courir le risque d'un échec.

« **A risque** »: Prédisposé à certains inconvénients; exposé à un danger, une perte, un échec.

« **A ses risques et périls** »: En assumant toute la responsabilité de quelque chose, d'une

entreprise. Préjudice, sinistres éventuels que les compagnies d'assurance garantissent moyennant le paiement d'une prime.

- A noter que toute activité comportant un risque, C'est la contrepartie négative d'un gain attendu.

I-2.2. ANALYSE DES RISQUES

« L'analyse » du risque se résume en une « Utilisation systématique d'informations pour identifier les phénomènes dangereux et pour estimer le risque (selon (ISO/CEI)). L'analyse est une notion relative, peut être notamment basée sur une comparaison à d'autres risques.

L'objectif de l'analyse des risques professionnels est d'acquiescer une démarche structurée permettant d'évaluer les risques, d'aboutir à la rédaction d'un document unique et de bâtir un plan d'action (actions préventives).

On peut mettre en œuvre une analyse des risques professionnels en suivant les étapes ci- dessous:

Diviser chaque travail en étapes élémentaires;

Déterminer les risques associés à chacune de ces étapes;

Elaborer des mesures de contrôle pour chacun des risques répertoriés.

I-2.3. DÉMARCHE D'ANALYSE DE RISQUE

La démarche d'analyse de risque consiste en:

-Une **description du système**

-Une **Identification des risques**

-Une **évaluation des risques** basée sur des critères d'acceptation du risque :

« L'évaluation » du risque n'est autre qu'un « Processus de comparaison du risque estimé avec des critères de risque donnés pour déterminer l'importance du risque » (selon (ISO/CEI)). La comparaison peut être menée par rapport à un référentiel préétabli dans l'objectif de permettre la prise de décision vis-à-vis de l'acceptation du risque ou de la nécessité de son traitement.

Elle peut considérer le coût, les avantages, les préoccupations des parties prenantes, et d'autres variables requises selon le cas pour l'évaluation du risque (selon ISO/CEI Guide 73). Ceci donne lieu à une signification ou " valeur " attribuée au risque estimé par les personnes concernées, en tenant compte de la perception qui en est faite ; cette estimation ou évaluation du risque est souvent réalisée selon deux composantes, la probabilité et les conséquences potentielles d'un risque, par exemple sur une grille de criticité.[23]

L'évaluation du risque se fait à base de facteurs « Risque » qui est:

-La « **Gravité** »;

-L' « **Occurrence** »;

-La « **Délectabilité** ».

La Criticité est calculée selon la formule : $C = G \times O \times D$

Où : C : Criticité ; O : Occurrence ; D : Délectabilité

Une proposition de quatre niveaux de cotation, de 1 à 4 est envisagée :

Plus le risque de chacun de ces facteurs est élevé, plus le niveau qui lui est attribué est élevé. Il existe cependant un « **seuil d'acceptabilité** » à Déterminer

La frontière « **acceptable/ non acceptable** »

1- UN **établissement des mesures** destinées à diminuer les risques.(Réduction des risques).

« La **réduction** » du risque, elle est basée sur des actions entreprises en vue de diminuer la « **probabilité** », les « **conséquences** » négatives (ou « **dommages** »), associés à un risque, ou les deux (selon (ISO/CEI Guide 73)).

Cela peut être fait par le biais de chacune des trois composantes du risque,

« **Réduction de la probabilité** »:

la « **probabilité** », l'« **intensité** » et la « **vulnérabilité** »

Par amélioration de la « **prévention** », par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité.[31]

b- « Réduction de l'intensité »:

➤ Par « **action** » sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des quantités mises en œuvre, atténuation des conditions de procédés (T°, P...), simplification du système.... _ réduction des dangers ;

➤ La réduction de l'« **intensité** » peut également être accomplie par des mesures de « **limitation** » (ex : rideau d'eau pour abattre un nuage toxique, limitant son extension à des concentrations dangereuses).

La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source », ou réduction de *l'aléa*.

c- « Réduction de la vulnérabilité »

Par « **éloignement** » ou « **protection** » des éléments vulnérables (par exemple par l'acquisition de l'urbanisation ou par les plans d'urgence externes).

II-2-4- MODEL D'ANALYSE DES RISQUES PROFESSIONNELS

Le model est composé de trois partie:

❖ ÉTAPES

- Chaque tâche peut être divisée en étapes. Cette série d'étapes constituera la trame du procédé sécuritaire au travail.
- Il est essentiel de faire un inventaire précis de toutes les étapes mises-en œuvre pour chaque tâche. Assurez-vous de bien noter tout ce que le travailleur fait. Une fois chaque étape décrite, passez en revue vos notes et synthétisez les descriptions en éliminant les détails inutiles.
- Limitez le nombre d'étapes que vous enregistrez. Si un même travail Comprend un nombre trop élevé d'étapes, envisagez de le diviser en deux travaux.

Les travailleurs doivent participer activement à l'analyse.[31]

❖ RISQUES

Répertoriez les risques associés à chacune des étapes du travail.

- **Risques / Accidents**
 - Chutes
 - Points de pincement
 - Pointes aiguës

- Bords coupants
- Engins en mouvement
- Chute d'objets
- Systèmes sous pression
- Incendie et explosion
- Electrique
- **Risques sanitaires**
- Risques *chimiques* (acides, solvants, fumées)
- Risques *biologiques* (bactéries, virus) *Agents physiques* (chaleur, bruit, rayonnement)
- Risques de *blessures musculo-squelettiques* (postures inconfortables, efforts intensifs, mouvements répétitifs)
- Risques psychosociaux (harcèlement, contrainte d'emploi du temps, violence)

❖ REDUCTION DES RISQUES

Quelles sont les mesures qui peuvent être mises en œuvre pour réduire chacun des risques répertoriés?

- **À la source**
- Élimination
- Substitution
- Modification
- Isolation
- Automatisation
- **Le long de la chaîne**
- Déplacement
- Barrières
- Absorption
- Dilution
- **Au niveau du travailleur**
- Contrôles administratifs
- Initiation, formation et supervision
- Procédures de travail
- Planification des mesures d'urgence
- Entretien des locaux
- Pratiques d'hygiène
- Équipement de protection individuelle[32]

I-2-5. INDICATEURS DE SECURITE

Les indicateurs de sécurité sont en nombre de quatre :

- 1* Calcul du thermomètre de sécurité
- 2* Taux de fréquence: nombre d'accidents et d'incidents
- 3* Taux de gravité: indice et coûts
- 4* Indice occurrence.

I-3. LEGENDE ET HISTOIRE SUR LE RISQUE ELECTRIQUE

Les historiens de la science se réfèrent avec complaisance aux textes bibliques et aux témoignages anciens. L'histoire de l'électricité n'a pas échappé à leurs investigations, et plus

particulièrement le risque électrique.

Il a été trouvé dans les textes bibliques une référence inattendue : L'arche d'alliance aurait été la première machine électrique. Soumise aux champs électriques qui, dans la zone désertique, peuvent atteindre plusieurs centaines de volts par 1m à 2 m du sol, son armature métallique pouvait se charger à un potentiel dangereux, et foudroyer les impies (sacrilèges), tout en restant sans danger pour les prêtres enfermés dans leur cage de Faraday constituée de fils d'or tissés dans leurs vêtements. L'arche était équipée d'anneaux d'or aux quatre angles dans lesquels coulissaient des bâtons de bois d'acacia recouverts d'or, réalisant ainsi la première mise à la terre.

L'électricité, sous la forme de ses manifestations atmosphériques a été longtemps considérée comme l'esprit du mal, l'effet de la colère des Dieux. L'histoire abonde des tentatives tragiques de nombreux chercheurs et même, parmi eux, deux rois qui imaginèrent des systèmes de protection contre la foudre. Au Xe siècle, le savant **Gerbert**, plus connu sous le nom de **pape Sylvestre II**, jalonnait le sol de perches terminées par des fers de lances très pointus pour protéger les lieux.

L'homme a basé sa civilisation contemporaine sur le progrès technologique lié à l'énergie électrique. Cependant, le courant électrique est une arme à deux tranchants, il continue de sévir, en causant des incendies, des explosions, de graves séquelles physiologiques, voir même la mort, chez qui ne sait pas respecter les règles de la sécurité électrique.

Pour expliquer le phénomène de la foudre, l'homme faisait appel à des divinités. La foudre était associée à la colère des Dieux et à la notion du châtiment pour les fautes et les pêchés commis. Aux 18ème siècle, **FRANKLIN** et **DALIBARD** ont décliné les premières recherches scientifiques sur la foudre.[32]

FRANKLIN (physicien américain - Boston 1706 - Philadelphie 1790), inventa le paratonnerre en 1752. Il adopta le premier la notion d'isolement électrique de l'opérateur avec des fils de soie, et posa le principe de la mise à la terre.

La découverte des propriétés de l'électricité statique avec la bouteille de Leyde, vers 1746, et les expériences de décharge électrique que propageait le savant **abbé Nollet** a polarisé pour un temps l'opinion qui se ruait dans les salons parisiens.

Mais les savants, poursuivant les recherches pour domestiquer la foudre établirent un rapport entre celle-ci et l'électricité. Il y a deux siècles, **Benjamin Franklin** réalisa de nombreuses expériences (le cerf-volant restant la plus célèbre) ; il adopta le premier la notion d'isolement électrique de l'opérateur avec des fils de soie, et posa le principe de la mise à la terre. Cette précaution importante était bien connue de son contemporain, le professeur **Richmann**, membre de l'Académie des sciences de Saint-Petersbourg qui, répétant des expériences sur la foudre (celles de **Franklin**, **Buffon**, **Lemonnier**, **de Romas** et autres) avait été électrocuté, le

6 août 1753. Par temps d'orage, se disposant à mesurer les décharges au moyen d'un électromètre « n'étant plus qu'à un pied du conducteur, un globe de feu bleuâtre, gros comme le poing, vint le frapper au front et l'étendit mort ». On peut le considérer comme étant le premier exemple, attesté scientifiquement, d'accident électrique.

Les premières études scientifiques sur l'action physiologique du courant électrique s'engagèrent alors en France et les noms des chirurgiens des armées impériales **Larrey** et **Bichat** y sont attachés,

tandis que le docteur *Uré* réalisa les premières expériences de réanimation des électrisés.

Des recherches sur les effets physiopathologiques du courant électrique ont été effectuées par de nombreux chercheurs ; parmi eux, il convient de citer les noms de *Dalziel, Ferris, Jacobsen Knickerbocker, Koeppen, Sam, Ozyпка, Lee...* Ces travaux ont porté sur des animaux vivants dont

les réactions peuvent être extrapolées par rapport à celles de l'homme. Des mesures de résistance ont également été effectuées sur des cadavres humains peu de temps après leur décès.

Vers 1790, l'anatomiste italien *Galvani* entra dans le domaine des réactions de l'organisme animal au courant électrique avec ses expériences sur les grenouilles, et *Volta*, pour réfuter les conclusions du premier, construisit la première pile électrique qui marque le début de la nouvelle et grande période de l'électricité.

En 1956, le professeur *Esclangon* mourait électrocuté devant trois cent étudiants.

Le 17 octobre 1969 – France, Un accident limité au site s'est produit à la centrale nucléaire de Saint Laurent-des-Eaux. L'accident entraîne la fusion de cinq éléments combustibles dans le réacteur A1. Lors du déchargement, les opérateurs ont ordonné de charger un canal d'uranium et de graphite. Le réacteur est resté un an à l'arrêt pour un coût de 20 millions de francs (un peu plus de trois millions d'euros).

Entre 1970 et 1980, le professeur autrichien *Biegelmeier* s'est livré tensions allant de 10V à 220 V, entre différentes parties de son corps et dans différentes conditions d'humidité. Il a ainsi effectué plus de 600 mesures qui ont permis d'améliorer de façon importante nos connaissances sur les effets du courant électrique sur le corps humain. Inutile de préciser que cet homme courageux s'était entouré de toutes les précautions nécessaires pour éviter tout risque d'accident ; en particulier, le circuit, qui l'alimentait, était protégé par quatre dispositifs différentiels de 30 MA en série, et son assistant disposait des moyens de réanimation nécessaires.

En 1974 Sao Polo, 179 mort, tragique bilan qui n'avait pour origine qu'un banal court circuit électrique.

En 1978, le chanteur *Claude François* est électrocuté dans sa salle de bain.

En 1982, aux pays bas, une explosion de 240 kg de propergol dans une usine de poudre, causée la mort de trois ouvriers. Les recherches et les enquêtes considère l'électrostatique comme la cause la plus probable à l'origine de l'accident ; l'étincelle provoquée par un employé chargée aurait enflammé de la poussière d'explosifs.

Le 26 Avril 1986 – Ukraine, un accident a émergé à Tchernobyl dans une centrale nucléaire. La cause principale de cet accident est due à l'homme plus précisément son erreur humaine.

Le 11 Mars 2011- Japon, un séisme de magnitude 9 entraîne un tsunami de plus de 14m, ce dernier s'est produit l'accident nucléaire majeur

I-4. ENSEIGNEMENT DE LA PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS POUR L'HABILITATION ELECTRIQUE

I-4-1.TEXTES RÉGLEMENTAIRES ET NORMES CODE DU TRAVAIL/ DEFINITION DE LA PUBLICATION UTE C 18-510- OBLIGATIONS.

La norme NF C18-510 est le document technique de référence réglementaire (article R4544- 3 code du travail) pour la maîtrise des opérations dans un environnement à risques électriques. Elle définit les rôles et responsabilités des chefs d'établissement et des intervenants. Elle décrit les

modalités des habilitations nécessaires en fonction des opérations et selon les domaines de tension. En France, depuis le Décret du 10 février 2016, l'application de cette norme n'est plus obligatoire. Elle est néanmoins officiellement recommandée par l'Arrêté du 20 novembre 2017. Ce bouleversement législatif n'a pas vocation à remettre en question la pertinence des dispositions de la NF C18-510. Elle vise uniquement à respecter le cadre juridique concernant les normes obligatoires

qui doivent être disponibles gratuitement.[33]

Il est recommandé que tous les personnels, qui dans le cadre de leur travail sont confrontés aux risques d'origine électrique lors d'opérations sur les installations électriques ou dans leur voisinage, soient habilités par leur employeur sur la base des dispositions de la norme NF C18-510, conformément aux dispositions des articles R4544-1 à R4544-11 du code du travail pour la plupart des entreprises.

Deux conditions de base à vérifier par l'employeur pour habilitier un salarié : s'assurer qu'il bénéficie d'un suivi individuel renforcé adapté au poste de travail tenu et qu'il a reçu une formation théorique et pratique lui conférant la connaissance des dangers de l'électricité et des mesures à prendre pour intervenir en sécurité lors de l'exécution des opérations qui lui sont confiées.

L'employeur gère alors une habilitation détaillée et individuelle pour chaque salarié qui le nécessite. Cette habilitation est individuelle n'est en aucun cas un ordre de travail, les personnels n'ont pas à prendre l'initiative d'une intervention.

Cette norme est une référence pour établir le recueil d'instructions de sécurité électrique que l'employeur doit remettre à chacun des salariés qu'il habilite. Elle reste d'application volontaire.

Plusieurs autres normes déduites de la norme NF C18-510 et référencées NF C18-505-x-x précisent les dispositions propres à diverses situations de travaux sous tension, nécessitant par ailleurs une habilitation spécifique (art R4544-11) délivrée par l'employeur après l'obtention d'un document délivré par un organisme de formation agréé attestant que le salarié a acquis les connaissances et les compétences nécessaires.

I-4-1-1. ORGANISATION DES TEXTES

Dans le cadre du Code du travail, les textes réglementaires sont élaborés à partir de décrets pris par le ministre de tutelle afin d'assurer l'hygiène et la protection des travailleurs. Les textes législatifs fixant les objectifs sont constitués de lois votées par l'Assemblée Nationale, de décrets issus des lois signées par le ministre concerné, d'arrêtés ministériels fixant les moyens, de circulaires et de notes techniques analysant le texte du point de vue de son application.

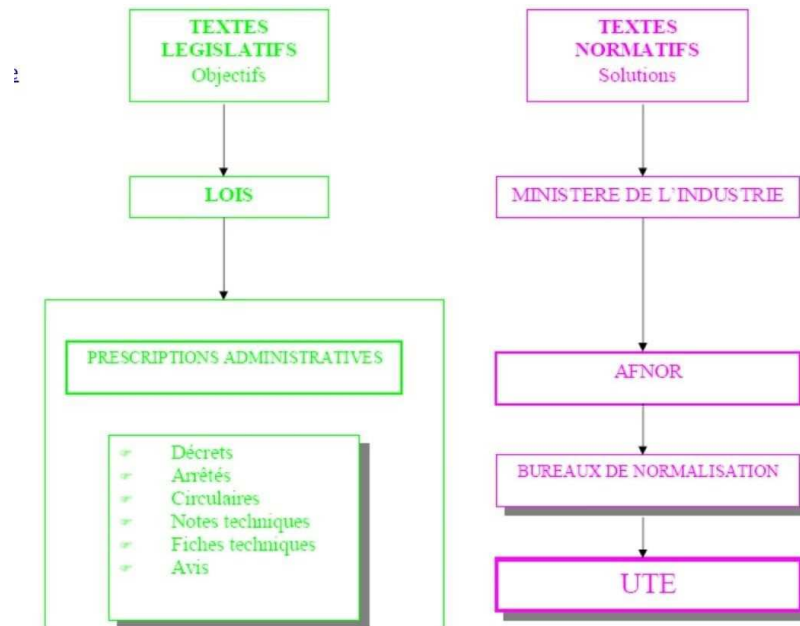


Figure II.61. Organisation des textes

I-4-2. OBLIGATIONS DES EMPLOYEURS:

❖ Objectif

Extrait circulaire DGT/2012/12 du 9 octobre 2012 « Article 1er du décret n° 2010-1016 du 30 août 2010. Les dispositions introduites par cet article du décret s’insèrent dans la partie suivante du code du travail :

- **Livre II** : Dispositions applicables aux lieux de travail - Titre II : obligations de l’employeur pour l’utilisation des lieux de travail - Chapitre VI : installations électriques.

Les employeurs qui utilisent les installations électriques des lieux de travail doivent respecter les dispositions des articles R. 4226-1 à R. 4226-21 du chapitre VI du titre II du livre II de la quatrième partie du code du travail. »[35]

- **Art. R. 4226-1** : « Les dispositions du présent chapitre fixent les règles relatives à l’utilisation des installations électriques permanentes et temporaires. Elles fixent également les règles relatives à la réalisation, par l’employeur, d’installations électriques temporaires ou d’installations électriques permanentes nouvelles ou relatives aux adjonctions et modifications apportées par celui-ci aux installations électriques existantes Les dispositions du présent chapitre fixent les règles relatives à

l’utilisation des installations électriques permanentes et temporaires. Elles fixent également les règles relatives à la réalisation, par l’employeur, d’installations électriques temporaires ou d’installations électriques permanentes nouvelles ou relatives aux adjonctions et modifications apportées par celui-ci aux installations électriques existantes. »

❖ Acteurs : employeurs, fonction publique et travailleurs indépendants

Extrait circulaire DGT/2012/12 du 9 octobre 2012 « Champ d’application :

- Suivant les termes mêmes de l’intitulé du décret 2010-1016, ce dernier s’applique aux employeurs sur tous les lieux de travail où les travailleurs sont amenés à utiliser des installations électriques dans le cadre de leur travail.

• Dans la fonction publique d'État et dans la fonction publique territoriale, le décret n° 82-453 du 28 mai 1982 modifié ainsi que le décret n° 95-695 du 9 mai 1985 rendent applicables les dispositions du code du travail dans le domaine de la santé et de la sécurité des travailleurs.

Conformément à l'article 2 du décret du 9 mai 1985 applicable dans les collectivités et établissements qui emploient des agents de la fonction publique, les locaux et installations de service doivent être aménagés, les équipements doivent être réalisés et maintenus de manière à garantir la sécurité des agents et des usagers. Concernant le cas particulier des installations d'éclairage public, l'article susmentionné, dans sa rédaction actuelle, ne permet pas de déduire que ces installations soient soumises au décret 2010-1016 et notamment à l'obligation de vérification des installations électriques prévue par les articles R. 4226-14 et suivants. » « Précédemment, c'est le décret n° 95-607 du 6 mai 1995 qui fixait la liste des prescriptions réglementaires que devaient respecter les travailleurs indépendants lorsqu'ils exerçaient directement une activité sur un chantier de bâtiment ou de génie civil. Le décret du 14 novembre 1988 précisait dans son champ d'application – en III de l'article 1er - les dispositions qui leur étaient applicables. Les obligations afférentes à ces dispositions sont

reprises par la réglementation actuelle aux articles R. 4535-11 et R. 4535-12. »

« Les dispositions du présent chapitre fixent les règles relatives à l'utilisation des installations électriques permanentes et temporaires. Elles fixent également les règles relatives à la réalisation,

par l'employeur, d'installations électriques temporaires ou d'installations électriques permanentes nouvelles ou relatives aux adjonctions et modifications apportées par celui-ci aux installations électriques existantes. »[36]

« **L'article R. 4226-1 du code du travail**, au sein de la section I du décret intitulée champ d'application et définitions, vient préciser le champ d'application du décret en mentionnant que :

• Les dispositions du chapitre VI s'appliquent aussi bien aux installations fixes que temporaires (telles que les installations de chantier) ;

• Les dispositions du chapitre VI prévoient des règles applicables aux installations temporaires réalisées par l'employeur ou aux installations nouvelles permanentes et aux adjonctions ou modifications des installations existantes réalisées par l'employeur

; l'ensemble de ces installations électriques étant considérées comme des installations neuves soumises aux règles de réalisation et de conception par renvoi de l'article R. 4226-6 au décret 2010-1017 relatif aux obligations des maîtres d'ouvrage.

La distinction entre les installations électriques permanentes et les installations électriques temporaires instituée à l'article R. 4226-1 est un apport important de la nouvelle réglementation. Bien que couvertes par le décret du 14 novembre 1988, les installations

électriques temporaires n'étaient pas expressément désignées par l'ancien texte qui visait l'ensemble des installations électriques par le terme général d'installations. Dans le nouveau texte, les installations électriques permanentes sont les installations autres que temporaires.[36]

• **Art. R. 4226-2** : Les installations électriques comprennent l'ensemble des matériels électriques mis en œuvre pour la production, la conversion, la distribution ou l'utilisation de l'énergie électrique.

Les installations électriques sont classées, comme suit, en fonction de la plus grande des tensions nominales, existant soit entre deux quelconques de leurs conducteurs, soit entre l'un d'entre eux et la Terre :

1- Domaine très basse tension (par abréviation TBT) : installations dans lesquelles la tension ne dépasse pas 50 volts en courant alternatif ou 120 volts en courant continu lisse ;

2- Domaine basse tension (par abréviation BT) : Installations dans lesquelles la tension excède 50 volts sans dépasser 1 000 volts en courant alternatif ou excède 120 volts sans dépasser 27 1 500 volts en courant continu lisse ;

3- Domaine haute tension A (par abréviation HTA) : installations dans lesquelles la tension excède 1 000 volts sans dépasser 50 000 volts en courant alternatif, ou excède 1 500 volts sans dépasser 75 000 volts en courant continu lisse ;

4- Domaine haute tension B (par abréviation HTB) : installations dans lesquelles la tension excède 50 000 volts en courant alternatif ou excède 75 000 volts en courant continu lisse. Pour les courants autres que les courants continus lisses, les valeurs de tension figurant aux Alinéas qui précèdent correspondent à des valeurs efficaces.

• **Extrait circulaire DGT/2012/12 du 9 octobre 2012** : « Parmi les définitions figurant dans l'article 2 du décret du 14 novembre 1988, seule celle des installations électriques a été reprise, dans le premier alinéa de l'article R. 4226-2.

Les matériels électriques comprennent l'ensemble des composants des installations électriques tels que matériels générateurs de puissance électrique, transformateurs, appareillages, appareils de mesure, dispositifs de protection, canalisations électriques, matériels d'utilisation. Les matériels

d'utilisation transforment l'énergie électrique en une autre forme d'énergie, par exemple lumineuse (appareils d'éclairage), calorifique (appareils de chauffage), mécanique (moteurs).

Les termes relatifs aux installations électriques utilisés dans les différents articles du décret sont les termes utilisés dans les normes d'installation, dont les définitions sont issues du Vocabulaire Électrotechnique International (VEI).

Dans le classement des installations électriques selon leur domaine de tension, la subdivision du domaine basse tension en un domaine BTA et un domaine BTB a été abandonnée. D'une part, cette subdivision, héritée de la classe moyenne tension du décret du 14 novembre 1962, n'existe ni au niveau européen (CENELEC) ni au niveau international (CEI) ; d'autre part,

elle n'est pas utile à l'énoncé des règles de protection contre les risques de choc électrique et à leur application. »

• **Art. R. 4226-3** « Les installations électriques temporaires sous - mises aux dispositions du présent chapitre comprennent :

- 1- Les installations telles que celles des structures, baraques, stands situés dans des champs de foire, des marchés, des parcs de loisirs, des cirques et des lieux d'expositions ou de spectacle ;
- 2- Les installations des chantiers du bâtiment et des travaux publics ;
- 3- Les installations utilisées pendant les phases de construction ou de réparation, à terre, de navires, de bateaux ou d'aéronefs ;
- 4 – Les installations des chantiers forestiers et des activités agricoles. »

• **Extrait circulaire DGT/2012/12 du 9 octobre 2012** : « Les installations électriques temporaires (...) sont celles des structures, baraques et stands situés sur les marchés, les champs de foires, dans les parcs de loisirs, dans les cirques et les lieux d'exposition ou de spectacles. Cet énoncé qui figure dans des termes identiques dans la norme NF C 15-100 en partie 7-711 ne cible pas des branches d'activité mais les lieux où l'on rencontre des installations électriques temporaires. »

• Exclusions :

• **Art. R. 4226-4** « Les dispositions du présent chapitre ne s'appliquent pas aux distributions d'énergie électrique régies par la loi du 15 juin 1906 sur les distributions d'énergie.

Dans le cas des installations de traction électrique, cette exclusion s'entend aux chantiers d'extension, de transformation et d'entretien de ces installations, aux équipements électriques du matériel roulant ferroviaire ainsi qu'aux installations techniques et de sécurité ferroviaires.

• **Extrait circulaire DGT/2012/12 du 9 octobre 2012** : « L'article limite le domaine d'application du nouveau décret, en excluant de son champ d'application les distributions d'énergie électrique régies par la loi du 15 juin 1906 ; néanmoins les dispositions du présent décret s'appliquent aux bâtiments et locaux dédiés à la gestion des distributions d'énergie électrique comme les bureaux et les ateliers.

Les distributions d'énergie électrique, au sens de la loi du 15 juin 1906 comprennent :

- Les réseaux HTB de transport ;
- Les réseaux HTA et BT de distribution ;
- Les installations de traction électrique utilisées pour le réseau ferroviaire, les réseaux de transport tels que les tramways, les métros, et les trolley- bus. »

• Maintien en conformité des installations permanentes avec les règles de conception lors de la mise en service - exception à ce principe

• **Art. R. 4226-5** « L'employeur maintient l'ensemble des installations électriques permanentes en conformité avec les dispositions relatives à la conception des installations électriques applicables à la date de leur mise en service.

Toutefois, une spécification technique nouvelle résultant de l'évolution technique peut être rendue applicable aux installations existantes, par arrêté des ministres chargés du travail et de l'agriculture, si elle permet de prévenir des atteintes graves à la santé et à la sécurité des travailleurs. »

• **Extrait circulaire DGT/2012/12 du 9 octobre 2012** : « En négatif, cet article rappelle que les nouvelles règles ne s'appliquent pas aux installations électriques réalisées et mises en service avant leur entrée en vigueur. À ce rappel du principe général de non- rétroactivité des règles de droit, l'article ajoute cependant la possibilité d'une exception, lorsqu'un risque grave peut être empêché par une nouvelle spécification technique rendue applicable par voie d'arrêté à des installations existantes. Parmi les spécifications techniques nouvelles pouvant être rendues applicables par arrêté aux installations existantes, on peut citer principalement une nouvelle disposition apparaissant dans une norme d'installation à la suite de la découverte d'un risque insoupçonné dans un mode usuel de réalisation d'installation.

• Cette situation s'est produite dans le passé quelques années après la parution du décret du 14 novembre 1962, qui permettait notamment la réalisation d'installations électriques basse tension à neutre isolé ou impudent. On découvrit, dans de telles installations, la destruction de conducteurs neutres par surintensités causées par des défauts « doubles », destruction susceptible d'entraîner de

graves incendies. Une nouvelle disposition publiée par l'Union Technique de l'Électricité dans un guide d'application de la norme NF C 15-100, qui exposait la nécessité de protéger les conducteurs neutres contre les surintensités dans les installations à neutre isolé ou impudent, et qui en indiquait les modalités pratiques, fut appliquée, à la demande du ministère du travail, aux installations existantes. »

I-4-3. ORGANISATIONS DES NORMES ELECTRIQUE

Les normes électriques sont des recueils de règles, de prescriptions et de méthodes destinées aux constructeurs de matériel électrique, aux professionnels électriciens, ou non électriciens exposés aux risques électriques.

Il existe en réalité trois niveaux de normalisation représentés pour l'électricité par les organismes suivants :

*/ CEI : Commission Electrotechnique Internationale (Genève) normes CEI..... ;

*/ CENELEC : Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (Bruxelles) normes EN....., le CENELEC (Européen) ;

*/ UTE : Union Technique de l'Electricité (bureau associé à l'AFNOR) normes UTE. C..., L'U.T.E (Français) ;

*/AFNOR: Association Française de Normalisation normes NF C...

Les publications internationales CEI ou européennes CENELEC sont des recommandations ayant pour but une harmonisation internationale des normes en vigueur dans les différents pays concernés. En France la normalisation est réglementée par décrets de lois, aboutissant aux normes homologuées NF C ou UTE C dans les domaines de l'électricité.

Ces organismes élaborent plusieurs types de documents :

- Publications ou recommandations de la C.E.I. ;
- Documents d'harmonisation (HD) ou normes européennes (EN) du CENELEC;
- Normes homologuées, normes enregistrées de l'U.T.E, laquelle édite également des guides ou publications U.T.E (qui ne sont pas des normes).

La normalisation en France est réglementée par la loi du 24 mai 1941 qui a créé l'Association

Française de Normalisation (AFNOR) et définit la procédure d'homologation des normes. Cette loi est complétée par le décret n° 84-74 du 26 mai 1974 modifié par les décrets n° 90- 653 et 91-283.

• Les normes homologuées doivent être appliquées aux marchés passés par l'état, les établissements et services publics.

Par ailleurs une norme homologuée peut être rendue d'application obligatoire par arrêté, mais cette procédure n'a été jusqu'à présent que peu utilisée en électricité.

Enfin, il faut noter qu'il existe deux grandes familles de normes qui visent d'une part la construction du matériel électrique et d'autre part la réalisation des installations électriques.

Les principales normes de réalisation sont :

- La NF C 15 100 - installations électriques à basse tension;
- La NFC 42020 (aussi appelée CEI 1010 ou EN61010) - appareils de mesure.

Une marque de conformité est alors gravée sur les appareils, un appareil conforme à une norme est un gage de sécurité.

I-4-4. DECRET DU 14 NOVEMBRE 1998

Décret 88 – 1056 du 14 novembre 1988 pris pour l'exécution des dispositions du Livre II –

Titre III du Code du travail (*) en ce qui concerne la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques. *Figure II.62*

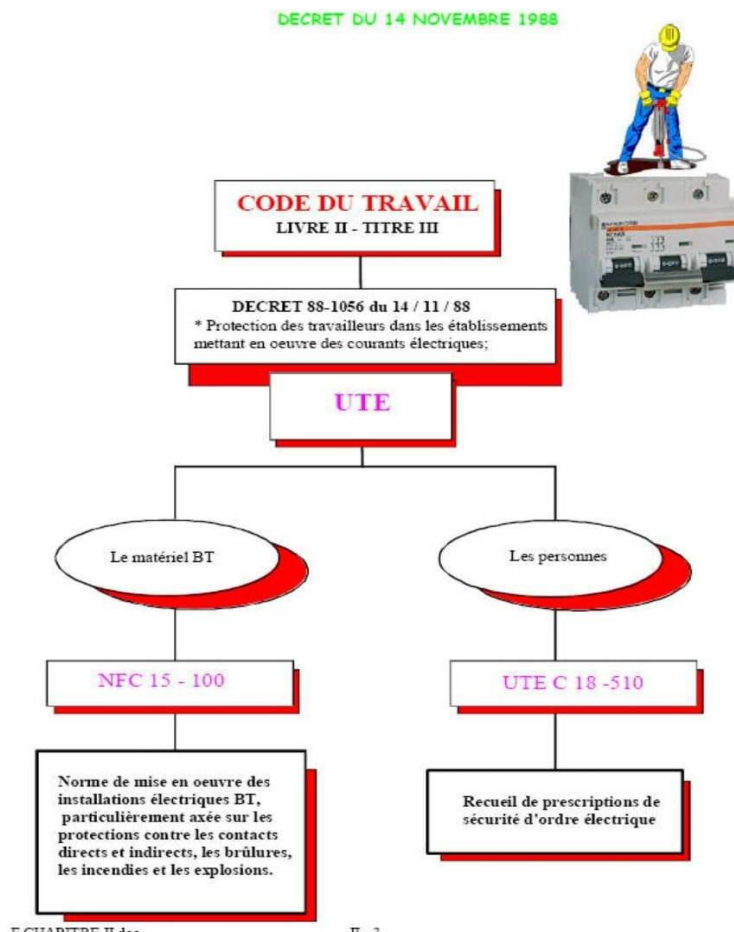


Figure II.62. Decret du 14 novembre 1998

I-4-5. MASSES METALLIQUES

Éléments conducteurs accessibles, sans potentiel défini, pouvant en cas de défaut, être porté à un potentiel différent de celui de la terre.

- **Décret 88. 1056 SECTION I** « Conducateur normalement affecté à la transmission de l'énergie électrique, tel que les conducteurs de phase et le conducateur de neutre en courant alternatif,...; toutefois le conducateur PEN n'est pas considéré comme conducateur actif ».[38]

- **Ouvrage électrique**

- **UTE C18.510 Art 2.2.2** «on appelle ouvrages électriques les ouvrages comprenant l'ensemble des matériels, des appareillages, des canalisations, assurant la production, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique ».

- **Travaux**

- **UTE C18.510 Art. 2.4.1** « Toute opération dont le but est de réaliser, de modifier, d'entretenir ou de réparer un ouvrage électrique. Les travaux font l'objet d'une étude programmée et d'opérations

préparées à l'avance ».

- **Interventions**

- **UTE C18.510 Art. 2.4.2** « Opérations, de courte durée et n'intéressant qu'une faible étendue de l'ouvrage, réalisées sur un équipement. Les interventions font l'objet d'une analyse sur place. La notion d'intervention est limitée aux domaines de la TBT et de la BT »
- Intervention de dépannage
- Remédier rapidement à un défaut susceptible de nuire...
- Intervention de connexion avec présence de tension
- Connexion et déconnexion des conducteurs sur des circuits maintenus sous tension ;
- Intervention de remplacement ;
- Remplacement d'appareillage (fusible, lampes..) pouvant être effectué avec présence de tension, sans risque particulier notamment d'explosion et de contact direct.

- **Manœuvres**

- **UTE C18.510 Art. 2.4.3** « Opérations conduisant à un changement de la configuration électrique d'un réseau, d'une installation, ou de l'alimentation électrique d'un équipement. Ces opérations sont effectuées au moyen d'appareils spécialement prévus à cet effet (interrupteur, disjoncteur, sectionneur..) »
- **Manœuvres d'exploitation:** Modification de l'état électrique d'un réseau... Mise en marche, réglage, ou arrêt d'équipement... ; Connexion, déconnexion d'équipements amovibles prévus pour être connectés ou déconnectés.
- **Manœuvres d'urgence:** Imposées par les circonstances pour la sauvegarde des personnes et des biens.
- **Manœuvres de consignation:** Opérations coordonnées effectuées pour réaliser la consignation (ou la déconsignation) d'un réseau, d'une installation ou d'un équipement.
- Les manœuvres de consignation peuvent être exécutées localement ou à distance.

- **Installation électrique**

- **UTE C18.510 art 2.2.4** «..Le terme installation regroupe l'ensemble des matériels électriques qui transforment et distribuent au moyen de canalisations fixes l'énergie électrique d'une façon globale et permanente..»

- **Equipement électrique**

- **UTE C18.510 art 2.2.5** «..Canalisations et appareillage des moteurs et autres appareils utilisant l'énergie électrique ». *Figure II.63*

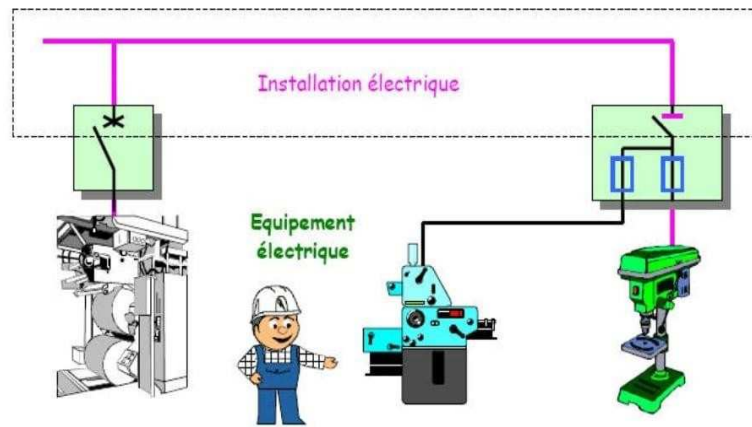


Figure II.63. Schémas d'Installation Electrique / Equipement électrique

-
- **Local Réservé aux Électriciens:** Tout local ouvert ou fermé dans lequel peuvent se trouver des pièces nues sous tension (boîtier –coffret – armoire – châssis –haut de poteau des lignes aériennes ...).
- **Domaine de tension**

Aucun travail sur un ouvrage électrique ou au voisinage d'un ouvrage normalement sous tension ne peut être entrepris sans considérer *les consignes de sécurité* dépendantes des différents *domaines de tension*:

Tableau II.19. Domaine de tension

Domaines de tension		Valeur de la tension nominale <i>U_n exprimée en volts</i>	
		en courant alternatif (A.C.)	en courant continu (D.C.)
Très Basse Tension(Domaine T.B.T)		$U_n < 50$	$U_n < 120$
Domaine Basse Tension	Domaine B.T.A	$50 < U_n < 500$	$120 < U_n < 750$
	Domaine B.T.B	$500 < U_n < 1\ 000$	$750 < U_n < 1\ 500$
Domaine Haute Tension	Domaine H.T.A.	$1\ 000 < U_n < 50\ 000$	$1\ 500 < U_n < 75\ 000$
	Domaine H.T.B.	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

- TBT : très basse tension ;
 - BT : basse tension (divisée en domaines A et B) ;
 - HT : haute tension (divisée en domaines A et B)[37]
- Dans le cas particulier de la Très Basse Tension, il y a lieu de distinguer les opérations
- En Très Basse Tension de Sécurité (**T.B.T.S**)
 - En Très Basse Tension de Protection (**T.B.T.P**)
 - En Très Basse Tension Fonctionnelle (**T.B.T.F**)
- Aucune précaution n'est à prendre en **T.B.T.S** et en **T.B.T.P** pour les risques d'électrisation (attention aux courts-circuits et aux brûlures)
- En **T.B.T.F**, toutes les règles de la B.T doivent être appliquées comme en cas d'incertitude sursa nature.

II-5.TEXTES OFFICIELS ALGERIENNES**II-5-1. LE CONTEXTE REGLEMENTAIRE**

Le code du travail permet au Ministre du travail de prendre des décrets portant règlement d'administration publique en vue d'assurer l'hygiène et la sécurité des travailleurs.

Il existe une véritable hiérarchie des différents textes:

- **La Loi** : votée par l'assemblée nationale, elle définit des objectifs à atteindre.
 - **Le Décret** : Il découle d'une loi, il est signé par le ministre du gouvernement concerné, il précise les buts à atteindre.
 - **L'arrêté** : Il est signé par le ministre du gouvernement concerné
- La Circulaire : Emise pour les services techniques ou administratifs des ministères, et destinée aux fonctionnaires, elle analyse les textes et détermine une ligne d'action.

La Note Technique : Emise par les services techniques des ministères, et destinée aux fonctionnaires, elle donne une interprétation technique d'un point particulier

C'est le décret 01-342 du 11 Chaabane 1422 correspondant au 28 octobre 2001 relatif aux prescriptions particulières de protection et de sécurité des travailleurs contre les risques électriques au sein des organismes employeurs

Il traite de la protection des travailleurs dans les établissements assujettis au code du travail qui met en oeuvre des courants électriques. Il s'applique également aux entreprises étrangères à l'établissement et auxquelles celui-ci confie soit des travaux sur ses propres installations électriques, soit des travaux de quelque nature que ce soit au voisinage d'installations électriques
Structure du décret 01-342 du 11 Chaabane 1422 correspondant au 28 octobre 2001:

IL comprend 77 articles répartis en 8 chapitres.

Le chapitre I traite des **dispositions générales**. Il comprend les principales définitions relatives aux risques électriques.

Le chapitre II traite le **classement des installations électriques en fonction des tensions**. Il reprend les normes de définition des différents niveaux de tension.

Le chapitre III traite des **conditions générales auxquelles doivent satisfaire les installations électriques**.

- Le chapitre IV traite la **protection des travailleurs contre les risques de contact avec des conducteurs actifs ou des pièces conductrices habituellement sous tension**.

Le chapitre V traite la **protection des travailleurs contre les risques de contact avec les masses mises accidentellement sous tension**.

Le chapitre VI traite la **prévention des brûlures, les incendies et explosions d'origine électrique**.

Le Chapitre VII traite l'*utilisation, la surveillance, l'entretien et la vérification des installations électriques*.

Le chapitre VIII traite les *dispositions particulières*.

I-6. RISQUES PROFESSIONNELS SPECIFIQUES AUX RISQUES ELECTRIQUES

Les risques liés à l'électricité, pour l'homme, sont de différentes natures. Il s'agit principalement des risques d'électrisation, d'électrocution et de brûlure. Ces risques ont pour origines des contacts directs ou indirects et des arcs électriques.

- **Un contact direct** est un contact avec une pièce nue sous tension. C'est par exemple le contact avec une partie conductrice d'une borne de raccordement, avec l'âme d'un conducteur dénudé ... ;
- **Un contact indirect** est un contact avec une pièce conductrice mise accidentellement sous tension. C'est par exemple le contact avec une armoire métallique non reliée à la terre et dont l'équipement électrique qu'elle contient présente un défaut d'isolement. *Figure II.64*

Les contacts directs ou indirects provoquent des électrisations ou électrocutions. Sur les muscles du corps humain les courants électriques peuvent provoquer une tétanisation (muscles moteurs et de la cage thoracique) ou une fibrillation ventriculaire pouvant provoquer l'arrêt du cœur.[37]

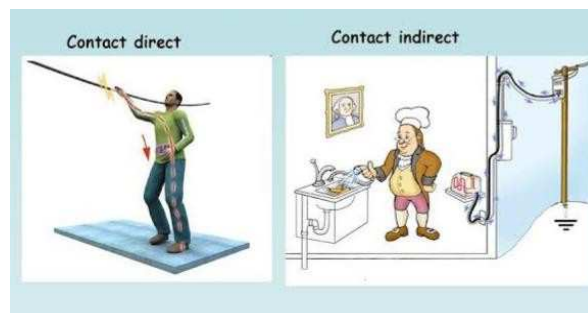


Figure I.64. Contact direct et indirect.

- **L'arc électrique et ses conséquences** : Un arc électrique est susceptible d'apparaître lorsque l'on ouvre ou que l'on ferme un circuit. En effet, sous l'influence de la tension électrique créée entre les extrémités des conducteurs que l'on sépare ou que l'on approche, les électrons libres sortent du métal et heurtent violemment les molécules d'air de l'espace interstitiel. Cela a pour conséquence d'arracher des électrons aux atomes de l'air et de le rendre subitement conducteur. Ce phénomène s'accompagne d'une projection de particules métalliques en fusion (plus de 3000°C). C'est l'arc électrique.

D'une manière générale, les arcs électriques peuvent jaillir entre deux conducteurs ou deux récepteurs voisins portés à des potentiels différents lorsque la couche qui les sépare n'est pas assez épaisse ou que sa qualité d'isolation a été diminuée. La liaison qui en découle est d'abord invisible (courant de fuite) puis visible (arc électrique). Les éclairs qu'on observe pendant les orages sont des arcs électriques entre deux nuages ou entre un nuage et la Terre. Dans les installations électriques,

un court-circuit provoque un arc pouvant avoir des conséquences importantes. *Figure II.65*

L'arc électrique peut être, pour l'homme, à l'origine de brûlure plus ou moins graves et pour les installations d'incendies ou d'explosion.



Figure II.65: Arc électrique.

Le risque de brûlure ou d'électrocution consécutive à un contact avec un conducteur électrique ou une partie métallique sous tension (le retour se faisant par le sol ou un élément relié au sol) ou deux conducteurs à des potentiels différents.

A titre d'exemples, La recherche des situations dangereuses se fait au niveau des :

- Installation électriques;
- Machine électrique;
- Et par outil à alimentation électrique.

Soient:

- Conducteur nu accessible au personnel : Armoire électrique non fermé à clé, Ligne électrique aérienne,
- Matériel défectueux : Coupure de la liaison avec la terre, câble d'alimentation d'appareil portatif ou rallonge électrique détériorée,....
- Non-consignation d'une installation électrique¹ lors d'une intervention : Réapparition, maintenance, modification....
- La réalisation des installations se fait par un personnel qualifié, avec un matériel approprié et selon les règles de l'art ;
- Le contrôle des installations électriques doit se faire périodiquement ;
- Le personnel doit être informé sur le risque électrique: Signalisation des zones dangereuses, affiches de secours aux électriciens....[13]

I-7. EDUCATION A LA SECURITE ELECTRIQUE

L'éducation est la meilleure des préventions puisqu'elle se propose de donner à chaque individu les moyens propres à le rendre autonome pour maîtriser les risques.

I-7-1. EDUCATION A LA SECURITE ET A LA PREVENTION DES RISQUES / ELEMENTS DE SECURITE ELECTRIQUE

- L'apprentissage de la prévention

Les schémas mentaux de prévention des risques sont les même au domicile, dans la rue, aulycée, dans l'entreprise :

- Identifier
- Estimer
- Décider
- Agir
- Observer

Eduquer à la sécurité c'est :

- Construire mentalement des représentations avant toute intervention sur un montage, afin d'en prévoir les conséquences. Ces représentations résultent de lois et de modèles physiques ;
- Entraîner à la vigilance ou lutter contre la "viscosité mentale" ;
- Responsabiliser pour atteindre l'autonomie ;
- Critiquer un comportement ou une méthode afin de les améliorer au plan de la sécurité.

Eduquer à la sécurité ce n'est pas :

- Interdire sans expliquer.
- Autoriser sans expliquer.
- Surprotéger ou déresponsabiliser
- Banaliser les gestes habituels.
- Proposer "l'échec" comme moyen d'éducation car en matière de sécurité celui-ci n'est pas acceptable

Chapitre II

Voisinage & moyens de protection

II-1. INTRODUCTION

Au cours d'opérations d'ordre électrique ou d'ordre non électrique, le personnel peut être amené à s'approcher de pièces nues sous tension ou de canalisations isolées.

Le risque électrique présenté par les ouvrages ou les installations électriques sous tension est lié à leur proximité, leurs dispositions constructives (accessibilité) et leur niveau de tension (distance d'amorçage). Plus on s'approche de l'ouvrage ou de l'installation électrique, plus le risque électrique augmente.

II-2. ZONES DE VOISINAGE

Les distances limites en champ libre déterminées à partir des pièces nues sous tension sont des distances qui servent à définir les limites des volumes des différentes zones de l'environnement.

Dans le présent paragraphe, l'environnement électrique correspond au volume limité à 50m autour d'une pièce nue sous tension. Cet environnement est divisé en quatre zones en haute tension et trois zones en basse tension.

En haute tension, en partant de la zone la plus éloignée de la pièce nue sous tension, l'environnement se compose de la zone d'investigation, du voisinage (zone de voisinage simple et zone de voisinage renforcé) et de la zone des travaux sous tension.

En basse tension, en partant de la zone la plus éloignée de la pièce nue sous tension l'environnement se compose de la zone d'investigation et du voisinage (zone de voisinage simple et zone de voisinage renforcé).

Les Locaux Réservés aux Electriciens « **LRE** » sont des enceintes normalement maintenues fermées dont l'accès n'est possible qu'aux personnes habilitées et désignées **ou** autorisées et surveillées. Ils contiennent les Ouvrages Electriques (installations et équipements) permettant l'accès éventuel à des pièces nues sous tension dans les domaines de la basse tension ou de la haute tension. On considère qu'une pièce sous tension devient directement accessible lorsque son indice de protection est inférieur à IP2x en BT et IP3x en HTA[13].

L'intérieur du « LRE » est découpé en zones d'environnement et de voisinage. Les degrés d'habilitation requis pour l'accès aux « LRE » varient selon le domaine de tension et la distance maintenue entre la personne et les pièces nues sous tension. Une Instruction Permanente de Sécurité (**IPS**) notifie les consignes à respecter à l'intérieur du LRE.

La notion de LRE s'applique également aux lignes aériennes

En zone de voisinage la personne doit porter un Equipement de Protection Individuelle (**EPI**).

❖ Prescriptions générales

Tableau II.20 : Prescriptions générales

ZONE	TITRE	LIEU – DOMAINE	EPI(*)
ZONE1– BT	B0, B1, B2	Intérieur du local à plus de 30 cm des pièces nues sous tension (BT)	CASQUE (voir IPS)
ZONE 1 –TBT	Pas d’habilitation Si TBTS ou TBTP<25V	Intérieur du local à moins de 30 cm des pièces nues sous tension	
ZONE 4	B0V, B1V, B2VB1T, B1N, B2T	ZONE DE VOISINAGE DE LA BT A moins de 30 cm des pièces nues sous tension	CASQUE GANTS ISOLANTS LUNETTES ANTI - UV
ZONE 1 – HT	H0, H1, H2	Intérieur du local en delà des zones de voisinage de HT	CASQUE (voir IPS)
ZONE 2	H0V, H1V, H2V	ZONE DE VOISINAGE DE LAHT	CASQUE GANTS ISOLANTS HT LUNETTES ANTI – UV
ZONE 3	H1T, H1N, H2T	Entre la DMA et les pièces nues sous tension (HT)	Equipements spéciaux HT

(*)EPI : Equipement de Protection Individuelle

III-2-1. DISTANCE LIMITE D’INVESTIGATION:

La distance limite d’investigation (DLI) est fixée conventionnellement à 50 m des pièces nues sous tension d’un ouvrage ou d’une installation.

En fonction de la configuration des lieux ou des opérations, l’espace au-dessus des pièces nues sous tension n’est pas limité et fait partie de la zone d’investigation (voir Figure 1).

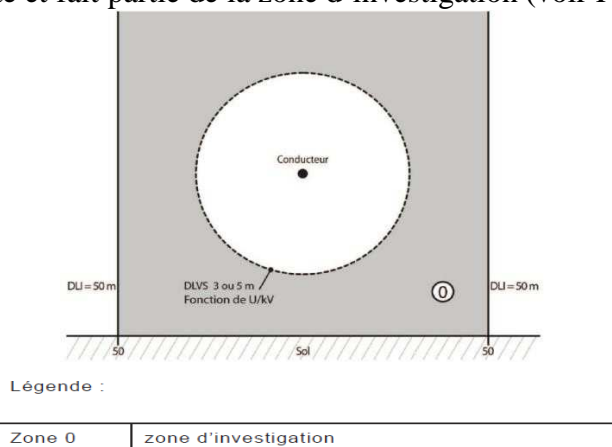


Figure II .66.. Distance limite d’investigation autour d’un conducteur nu en champ libre

II-2-2. ZONE D’INVESTIGATION

La zone d’investigation, appelée zone 0, est comprise entre la distance limite d’investigation(DLI) et la distance limite de voisinage simple (DLVS).

C’est la zone dans laquelle il est demandé d’analyser si l’exécution de l’opération envisagée peut exposer les opérateurs au risque électrique.[39]

II-2-3. DISTANCE LIMITE DE VOISINAGE SIMPLE

La distance limite de voisinage simple (DLVS) est la distance dans l'air, déterminée à partir de la pièce nue sous tension, qui permet de définir la limite extérieure de la zone de voisinage. En courant alternatif et en courant continu, la distance limite de voisinage simple (DLVS) est fixée conventionnellement à :

- 3 m jusqu'à 50 kV inclus ;
- 5 m au-delà de 50 kV et jusqu'à 500 kV inclus.

NOTE : Les distances au-delà de 500 kV ne sont pas spécifiées. En cas de besoin, ces distances sont définies au cas par cas pour des besoins spécifiques.[39]

II-2-4. VOISINAGE

Autour d'une pièce nue sous tension en champ libre, le voisinage se divise en deux zones :

- La zone de voisinage la plus éloignée de la pièce nue s'appelle zone de voisinage simple;
- La zone de voisinage la plus proche de la pièce nue s'appelle zone de voisinage renforcé.

Le voisinage est la zone dans laquelle débute la mise en œuvre des mesures de prévention de façon à supprimer ou, à défaut, réduire le risque d'origine électrique.

- Zone de voisinage simple

La zone de voisinage simple, appelée zone 1, est comprise entre la distance limite de voisinage simple (DLVS) et la distance limite de voisinage renforcé (DLVR).

- Distance limite de voisinage renforcé

La distance limite de voisinage renforcé (DLVR) est la distance dans l'air, déterminée à partir de la pièce nue sous tension, qui permet de définir la limite extérieure de la zone de voisinage renforcé.

- Distance limite de voisinage renforcé HT

En courant alternatif, la distance limite de voisinage renforcé (DLVR) est fixée conventionnellement à :

- 2 m au-delà de 1 000 V et jusqu'à 50 kV inclus ;
- 3 m au-delà de 50 kV et jusqu'à 250 kV inclus ;
- 4 m au-delà de 250 kV et jusqu'à 500 kV inclus.

En courant continu, la distance limite de voisinage renforcé (DLVR) est fixée conventionnellement à :

- 2 m au-delà de 1 500 V et jusqu'à 75 kV inclus ;
- 3 m au-delà de 75 kV et jusqu'à 375 kV inclus ;
- 4 m au-delà de 375 kV et jusqu'à 500 kV inclus.

NOTE : En courant alternatif et en courant continu, les distances au-delà de 500 kV ne sont pas spécifiées. En cas de besoin, ces distances sont définies au cas par cas pour des besoins spécifiques. [40]

- Distance limite de voisinage renforcé BT

La distance limite de voisinage renforcé (DLVR) est fixée conventionnellement à 30 cm de la pièce nue sous tension. Cette règle conventionnelle s'applique pour les domaines de tension inférieurs ou égaux à 1 000 V en courant alternatif et 1 500 V en courant continu.

En basse tension, la DLVR est confondue avec la distance minimale d'approche (DMA).

- Zone de voisinage renforcé
- Zone de voisinage renforcé HT

La zone de voisinage renforcé en haute tension, appelée zone 2, est comprise entre la distance limite de voisinage renforcé (DLVR) et la distance minimale d'approche (DMA), ou la distance minimale d'approche corrigée (DMAC) lorsqu'elle est spécifiée.

- Zone de voisinage renforcé BT

La zone de voisinage renforcé en basse tension, appelée zone 4, est comprise entre la distance limite de voisinage renforcé (DLVR), confondue avec la distance minimale d'approche (DMA), et la pièce nue sous tension sans contact.[40]

II-2-5. DISTANCE MINIMALE D'APPROCHE

La distance minimale d'approche dans l'air (DMA) permet de définir les limites extérieures des zones 3 et 4.

Cette distance limite, déterminée à partir d'une pièce nue sous tension, est la somme de la distance de tension et de la distance de garde.

Le chef d'établissement peut définir une distance minimale d'approche corrigée (DMAC) supérieure à la DMA. Dans ce cas, les valeurs de la DMAC se substituent aux valeurs de la DMA. La DMAC est particulièrement utilisée en haute tension.

NOTE : Dans tout le texte, il est fait référence uniquement à la DMA.

En haute tension le risque d'amorçage de l'arc électrique augmente avec la tension. La distance minimale d'approche DMA est une grandeur établie à partir de :

- La **distance de garde** permettant à l'opérateur de rester concentré sur son travail sans trop se soucier de la distance par rapport aux pièces nues sous tension. Cette distance est respectée en BT comme en HT. Elle est de 0,3 m en BT et 0,5 m en HT.
- La **distance de tension** correspond à la distance minimale à assurer sans risque d'arc. Elle s'applique en HT. Elle est estimée à $0,005 \times U$.

U en kV, soit 5 mm pour 1000 V dans l'air en absence de protection. La DMA est la somme des 2

distances ci-dessus

II-2-5-1 DISTANCE DE TENSION (t):

En courant alternatif, cette distance est donnée par la formule :

$$t = 0,005 \times Un$$

Où:

- t est la DISTANCE DE TENSION exprimée en mètres ;
- Un est la valeur de la tension nominale exprimée en kV.

Le résultat de cette formule est arrondi au décimètre le plus proche.

La valeur de la distance de tension t peut être majorée en HTB pour tenir compte de l'altitude, des conditions atmosphériques, des surtensions lors des manœuvres, etc.

NOTE : Si l'opérateur est à un potentiel différent de celui de la terre, cette distance de tension, utilisée comme distance de travail, doit être modifiée en conséquence.

En courant continu, les distances de tension sont calculées comme en courant alternatif. Pour les valeurs de tension inférieures ou égales à 1 500 V, cette distance est nulle. Pour les valeurs de tension supérieures, on prendra les distances retenues pour les tensions alternatives de même niveau.[41]

II-2-5-2.DISTANCE DE GARDE (g)

Cette distance a pour objet de libérer l'opérateur du souci permanent du respect de la distance de tension et de lui permettre ainsi de consacrer toute son attention à l'exécution de son travail, tout en parant aux conséquences de gestes involontaires.

Cette distance g est conventionnellement prise égale à :

- 0,30 m pour les domaines de tension BT et TBT ;
- 0,50 m pour le domaine de tension HT.

Pour les valeurs de tension nominales les plus courantes, les valeurs de t , de g et de la DMA sont indiquées dans le Tableau (III.2)

Tableau II .21. Distance Minimale d'Approche

Tension nominale U_n en kV	Distance de tension t en m	Distance de garde g en m	Distance minimale d'approche entre une phase et un opérateur au potentiel de la terre DMA en m
0,4	0 (*)	0,30	0,30
1	0 (*)	0,30	0,30
15	0,10	0,50	0,60
20	0,10	0,50	0,60
30	0,20	0,50	0,70
63	0,30	0,50	0,80
90	0,50	0,50	1,00
150	0,80	0,50	1,30
225	1,10	0,50	1,60
400	2	0,50	2,50
(*) Sans contact			

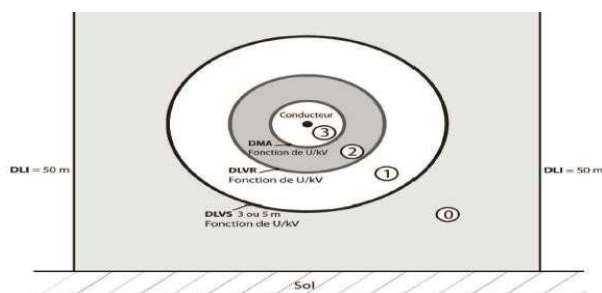
II-2-6. ZONE DE VOISINAGE BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS (B.TP)

Dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, le risque d'accrocher une ligne électrique aérienne et la difficulté d'apprécier les distances à partir d'un engin élévateur font que les données des FOLIOS 4A et 4B sont modifiées.

- La zone de voisinage B.TP est de 3 m pour une tension supérieure à 50 V, puis de 5 m au-delà de 50 kV.
- Pour les câbles enterrés, la distance minimale de fouille est portée à 1,50 m.

II-2-7. ZONE DES TRAVAUX SOUS TENSION EN HAUTE TENSION

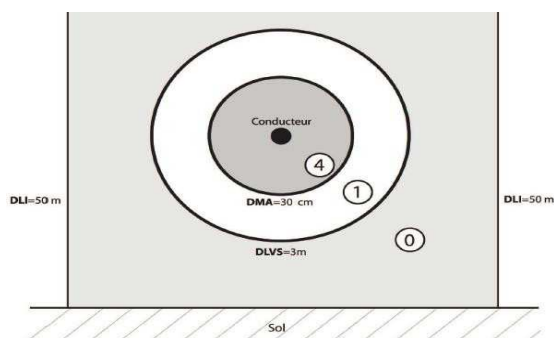
La zone de travaux sous tension en haute tension, appelée zone 3, est comprise entre les pièces nues sous tension et la distance minimale d'approche (DMA), ou la distance minimale d'approche corrigée (DMAC) lorsqu'elle est spécifiée.



Légende :

Zone 0	zone d'investigation
Zone 1	zone de voisinage simple
Zone 2	zone de voisinage renforcé en haute tension
Zone 3	zone des travaux sous tension en haute tension

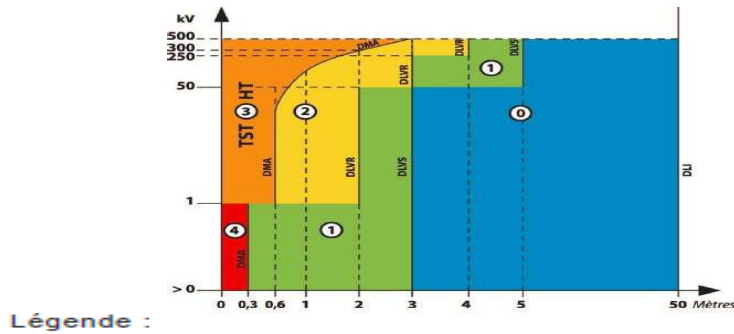
Figure II .109 : Zones autour d'un conducteur nu en champ libre en haute tension



Légende :

Zone 0	zone d'investigation
Zone 1	zone de voisinage simple
Zone 4	Zone de voisinage renforcé en basse tension

Figure II .67 Zones autour d'un conducteur nu en champ libre en basse tension



Légende :

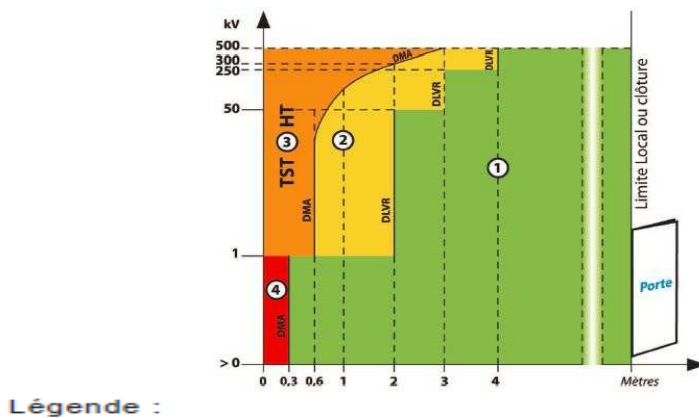
Zone 0	zone d'investigation
Zone 1	zone de voisinage simple
Zone 2	zone de voisinage renforcé en haute tension
Zone 3	zone des travaux sous tension en haute tension
Zone 4	zone de voisinage renforcé en basse tension

NOTE La valeur 0 Volt est exclue de la figure.

Figure II.68: Zones en champ libre (courant alternatif)

II-2-8. DISTANCES LIMITES ET ZONES DEFINIES DANS LES LOCAUX ET EMBLEMEMENTS D'ACCES RESERVE AUX ELECTRICIENS

Les zones définies dans les locaux et emplacements d'accès réservé aux électriciens sont les mêmes que celles du V.2 pour les zones en présence de pièces nues sous tension en champ libre avec, comme limite, la face interne du local ou de la clôture en lieu et place de la distance limite de voisinage simple (DLVS). Au-delà du local ou de la clôture, il n'y a pas de prescriptions vis-à-vis de l'ouvrage ou de l'installation situé à l'intérieur (il n'existe pas de zone 0).[38]



Légende :

Zone 1	zone de voisinage simple
Zone 2	zone de voisinage renforcé en haute tension
Zone 3	zone des travaux sous tension en haute tension
Zone 4	zone de voisinage renforcé en basse tension

NOTE La valeur 0 Volt est exclue de la figure.

Figure II .69 : Zones à l'intérieur d'un local et emplacement d'accès réservé aux électriciens (courant alternatif)

II-3. OPERATION EN ZONE DE VOISINAGE

III-3-1-CAS DES OPERATIONS EFFECTUEES DANS LE DOMAINE DE LA BASSE TENSION

Les opérations effectuées dans le domaine de la basse tension :

- La personne est habilitée **BxV ou BR**.
- La personne opère à moins de 30 cm de pièces nues sous tension. Dans le cas d'une *Intervention de connexion ou de mesurage*, le chargé d'intervention BR peut opérer au contact de câbles, barres ou bornes sous tension. Son outillage doit être conforme à ce degré d'opération
- La personne effectue un travail d'ordre non électrique, nécessitant par exemple le retrait des écrans le séparant des pièces sous tension ; elle doit être habilitée B0V.[39]
- La personne effectue un travail d'ordre électrique, hors tension, sur un équipement ou une installation la plaçant en voisinage de pièces nues sous tension (BT) ; elle doit être habilitée B2V ou B1V et dans ce cas elle ne peut pas travailler seule. *Figure II .70*
- La personne effectue un travail sous tension au contact de pièces nues sous tension ; elle doit être habilitée B2T ou B1T et dans ce cas elle ne peut pas travailler seule.

Remarque : Une personne effectuant un nettoyage de pièces nues sous tension doit être habilitée [23]

B1N et doit se conformer aux règles des travaux sous tension.



Figure II .70: opère à moins de 30 cm de pièces nues sous tension.

- La personne effectue un travail d'ordre non électrique, nécessitant par exemple le retrait des écrans le séparant des pièces sous tension ; elle doit être habilitée B0V.
- La personne effectue un travail d'ordre électrique, hors tension, sur un équipement ou une installation la plaçant en voisinage de pièces nues sous tension (BT) ; elle doit être habilitée B2V ou B1V et dans ce cas elle ne peut pas travailler seule.
- La personne effectue un travail sous tension au contact de pièces nues sous tension ; elle doit

être habilitée B2T ou B1T et dans ce cas elle ne peut pas travailler seule.

Remarque : Une personne effectuant un nettoyage de pièces nues sous tension doit être habilitée

B1N et doit se conformer aux règles des travaux sous tension.

II-3-2.CAS DES OPERATIONS EFFECTUEES DANS LE DOMAINE DE LA HAUTE TENSION

Les opérations effectuées dans le domaine de la haute tension :

- En haute tension, les personnes travaillant en zone de voisinage doivent être habilitées au minimum HxV. Dans ce cas, elles ne doivent pas franchir la distance minimale d'approche ;
- Cette distance peut être respectée grâce à des outils appropriés.
- Ces opérations sont assurées sous la surveillance d'un *Surveillant de Sécurité Electrique habilité HxV*. [29]

II-4. ZONE D'ENVIRONNEMENT

Toute opération doit être précédée par une analyse de l'environnement visant notamment à s'informer de la présence et des caractéristiques des ouvrages ou des installations électriques visibles ou invisibles.

Cette analyse doit être réalisée à partir de la visite du chantier, de la collecte de renseignements et de documents (notamment réglementaires) auprès des exploitants, des propriétaires ou des utilisateurs des ouvrages ou des installations, ou, quand nécessaire, à partir de mesures complémentaires d'investigation. Elle conduit à envisager, au cas par cas, des possibilités de consignation, de mise hors tension ou de mise hors de portée des personnes vis-à-vis des pièces nues sous tension, par éloignement, par obstacle ou par isolation, du port des équipements de protection individuelle ainsi que des vêtements de travail.

A partir de cette analyse doivent être déterminées les zones d'évolution des personnes et les prescriptions qui s'y rapportent.

Dans chaque zone d'environnement, les activités opérationnelles, qu'elles soient, sont soumises aux prescriptions spécifiques à cette zone. [24]

II-4-1.DIFFERENTES ZONES D'ENVIRONNEMENT III-4-1-1. ZONE 1

C'est la première zone soumise à prescriptions aussi bien pour les domaines HT que BT.

L'opérateur évolue en zone 1 lorsqu'il se trouve d'une part à une distance des pièces nues sous tension supérieure à la distance limite de voisinage (DLV) c'est-à-dire :

- 30 cm des pièces nues sous tension en BT (< 1000 V) ;
- 2 m des pièces nues sous tension en HT (< 50 kV) ;
- 3 m des pièces nues sous tension en HT (< 250 kV) ;
- 4 m des pièces nues sous tension en HT (> 250 kV).

Et d'autre part, dès le franchissement de la limite d'un local ou emplacement d'accès réservé aux

électriciens (par exemple poste de transformation, armoire), ou hors de ces locaux ou emplacements réservés, dès que la distance par rapport aux pièces nues sous tension est inférieure à 3 m (tension inférieure à 50 000 volts).

Cas particuliers : ascension d'un pylône de ligne en conducteur nu quelle que soit la tension, l'opérateur pénètre en zone 1 dès qu'il débute l'ascension.[24]

Le personnel doit être désigné par l'employeur et être :

- Soit habilité pour le domaine de tension ;
- Soit non habilité ou titulaire d'une habilitation non adaptée au domaine de tension et, dans ce cas, il doit :
- Recevoir une consigne écrite ou verbale ;
- Être surveillé en permanence par une personne habilitée et désignée à cet effet, sauf si la limite de voisinage est matérialisée.

II-4-1-2. ZONE 2

Cette zone est définie pour le domaine haute tension (> 1 000 volts). Elle est appelée zone de voisinage.

Elle est comprise entre :

- D'une part la distance minimale d'approche (DMA) calculée par la formule suivante :

$$\text{DMA} = 0,005 \text{ Un} + g$$

Un : tension en kilovolts

g : distance de garde fixée à 0,50 m

La DMA ne peut être inférieure à 0,60 m ;

- D'autre part la distance limite de voisinage (DLV) ayant pour valeur :
- 2 m pour les tensions inférieures ou égales à 50 kV ;
- 3 m pour les tensions intérieures ou égales à 250 kV ;
- 4 m pour les tensions supérieures à 250 kV.

❖ Conditions générales d'accès à la zone 2

- Le chargé de travaux ou le surveillant de sécurité doit recevoir une autorisation de travail ;
- Une consigne particulière ou instruction permanente de sécurité (IPS) doit être signifiée aux exécutants. Ce document écrit peut figurer sur l'autorisation de travail.

- Le personnel doit être désigné et autorisé à travailler au voisinage de la haute tension ;
- La zone de travail doit être délimitée.

❖ Travaux d'ordre électrique en zone 2

- Habilitation : H1 minimum avec autorisation de voisinage (H1V) ;
- Délimitation de la zone de travail par le chargé de travaux (H2V).

Dans le cas d'une entreprise intervenante, l'inspection préalable commune devra préciser les limites de la zone de travail et le balisage des voies d'accès.

Si le personnel s'approche de la DMA, la surveillance permanente doit être assurée par le chargé de travaux (H2V) ou un surveillant de sécurité (H0V minimum).

Le décret du 14 novembre 1988 prescrit à l'article 51 l'obligation, dans cette zone, d'une surveillance permanente par une personne avertie des risques présentés par ce type d'installation, désignée à cet effet et qui veille à l'application des mesures de sécurité prescrites.[25]

❖ **Travaux d'ordre non électrique en zone 2**

- Si le personnel est habilité H0V minimum : La procédure des travaux d'ordre électrique sera appliquée ;

❖ **Si le personnel est non habilité**

- Un surveillant de sécurité (H0V minimum) doit être désigné, il doit recevoir l'autorisation de travail et la signer, il assure la surveillance permanente des opérateurs ;
- La délimitation de la zone de travail doit être réalisée suivant les modalités définies par la consigne particulière ou l'IPS établie par l'employeur.

II-4-1-3. ZONE 4

Cette zone est définie pour le domaine basse tension BT < 1 000 volts.

Elle est comprise entre les pièces nues sous tension et la distance limite de voisinage(DLV) ayant pour valeur 30 cm.

Dans cette zone 4, les opérations sont réalisées suivant les règles :

- Soit des travaux sous tension (TST) nécessitant des habilitations spécifiques ;
 - Soit des interventions ;
 - Soit des travaux au voisinage.
-
- Conditions générales d'accès à la zone de voisinage BT (zone 4)
 - Le chargé de travaux ou le surveillant de sécurité doit recevoir une autorisation de travail ;
 - Une consigne particulière ou une IPS doit être signifiée aux exécutants, ce document écrit peut figurer sur l'autorisation de travail ;
 - Le personnel doit être désigné et autorisé à travailler au voisinage de la basse tension ;
 - La zone de travail doit être délimitée ;
 - Toutes les dispositions doivent être prises pour éliminer les risques de contact fortuit(gants, tapis, isolants, outils...).

❖ **Travaux d'ordre électrique en zone 4**

- Habilitation : B1 mini avec autorisation de travailler au voisinage (B1V) ;
- Délimitation de la zone de travail par le chargé de travaux ;
- Le personnel doit être désigné pour le travail à effectuer ;
- Le personnel doit avoir reçu l'ordre d'exécution.

Dans le cas d'une entreprise intervenante, l'inspection préalable commune devra préciser les limites de la zone de travail et le balisage des voies d'accès.

Si le personnel d'exécution ne fait pas écran, un balisage doit interdire l'accès des pièces nues sous tension.

- Travaux d'ordre non électrique en zone 4 Le personnel peut être :
- Soit habilité B0V ;
- Soit non habilité et dans ce cas être surveillé en permanence par un surveillant de sécurité habilité B0V minimum.

Dans tous les cas, le chef de chantier (B0V minimum) ou le surveillant de sécurité doit avoir reçu et signé l'autorisation de travail.

La délimitation de la zone de travail sera effectuée suivant les modalités définies par la consigne particulière ou l'IPS établie par l'employeur. [24]

II-5. ZONE DE TRAVAIL ET BALISAGE

II-5-1. DEFINITIONS

- **Zone de travail** : Zone dans laquelle l'opérateur est amené à évoluer avec les outils et matériels qu'il manipule. Cette zone doit être balisée (délimitation matérielle), et seules les personnes autorisées et désignées pour le travail à effectuer peuvent pénétrer à l'intérieur de cette zone.
- **Balisage** : Délimitation matérielle d'une zone de travail à l'aide de banderoles, filets, etc.
- **Écran** : Obstacle conçu pour éviter l'approche ou le contact de pièces nues sous tension. Il peut également délimiter une zone de travail.

Il peut être réalisé en :

- Matériau conducteur mis à la terre ;
- Matériau non conducteur sans garantie isolante déterminée ;
- Matériau isolant ou isolé.

L'utilisation de ces écrans nécessite l'établissement de consignes d'emploi.

- **Protecteurs** : Dispositif constitué par une enveloppe isolante qui a des caractéristiques diélectriques contrôlées. Il est fixé sur les pièces nues sous tension.

Les précautions d'emploi (humidité) et les tenues (mécaniques et diélectriques) doivent être précisées pour définir les conditions d'utilisation.

II-5-2. DELIMITATION DE LA ZONE DE TRAVAIL ET DU MATERIEL DE SIGNALISATION

II-5-2-1. VOIE D'ACCES A LA ZONE DE TRAVAIL

Si le trajet menant à la zone de travail passe à proximité d'éléments sous tension, le chemin sera signalisé à l'aide de barrières, chaînes, ruban de couleur ou similaire. La distance de sécurité légalement requise entre la zone et ces éléments devra être respectée.

La délimitation de la zone de travail se fera moyennant balisage de tout le périmètre.

Pour ce faire, utiliser des sphères, barrières, pieux, etc.; le ruban ou la chaîne utilisée devront être rouge-blanc. Si l'on utilise du ruban, celui-ci devra être placé à deux hauteurs différentes.

À l'intérieur de la zone de travail placer 1 cône/balise de 1 m. de hauteur, recouvert d'écriteaux sur toutes ses faces qui affichent la légende: "zone de travail". *Figure II.71*



Figure II.71. Zone de travail signalisée

- Balisage et la signalétique :

Indiquer la **Zone de travail** de manière claire et sans ambiguïté :

- Balisage de la zone de travail devenant une « zone infranchissable à toute personne non autorisée » : obstacle mobile – chaîne en plastique – bande de chantier – filets - barrières....
- Signalétique de travail : Ecriteaux informant du danger et de l'interdiction de pénétrer dans la zone de travail
- Signalétique de consignation : Macaron ou pancarte indiquant la condamnation d'un appareil de séparation: nom – date – heures ...[27]

II-5-2-2. ENTREE ET SORTIE DE LA ZONE DE TRAVAIL

Dans la zone d'entrée/sortie de l'espace de travail, placer 2 cônes (porte d'accès à la zone de travail) de 1m. de hauteur. Les deux cônes seront reliés entre eux par une chaîne soutenant un écriteau (et la boîte) affichant la légende:

- Vu de l'extérieur de la zone de travail: "zone de travail + pictogramme de risque électrique".
- Vu de l'intérieur de la zone de travail: "ne pas quitter la zone de travail sans être accompagné par une personne Autorisée ou Qualifiée (consulter le Permis de travail dans la boîte) + pictogramme de risque électrique".

Dans la boîte accrochée à la chaîne, glisser le permis de travail correspondant (carte verte) qui devra y rester jusqu'à la fin des travaux.[27]

II-6. INSTRUCTION PERMANENTE DE SECURITE

Document écrit permanent, établi par l'employeur à l'usage du chargé de travaux fixant pour un ou plusieurs types d'opérations :

- Les conditions d'exécution ;
- Les conditions de désignation, habilitation, surveillance du personnel ;
- Les conditions relatives au matériel et à l'outillage ;
- Les précautions à observer ;
- Les modalités des opérations.

Dans certains cas, l'IPS est appelé " consigne particulière ".

Pour répondre à des besoins répétitifs sur un ouvrage, la demande de travail hors tension peut être remplacée par une instruction permanente de sécurité (IPS).

Dans ce cadre, le Chargé de Travaux de l'entreprise réalise impérativement une consignation pour son propre compte sur l'installation terminale du client (pas de modification du schéma électrique du réseau d'ERDF).

L'IPS est formalisée par un document délivré par l'Employeur. Elle doit être conforme aux consignes de l'Exploitant. L'Entreprise peut récupérer une IPS type de l'Exploitant et l'adapter à sa situation.

Une fois validée par l'Exploitant, l'IPS est valable sur une période à définir.




II-7. MESURES DE SECURITE POUR LE MATERIEL ELECTRIQUE

La tension nominale du matériel électrique doit être en adéquation avec la tension d'alimentation.

La norme NF EN 61140 répartit les matériels électrotechniques en 4 classes en fonction de leur conception du point de vue sécurité :

- L'isolation entre les parties actives (normalement sous tension) et les parties accessibles (masses métalliques) ;
- La possibilité ou non de relier les parties métalliques accessibles à la terre. [28]

Tableau II.22 : Classes Des Matériels Electriques

Classe	Symbole	Protection	Emploi
0	AUCUN	AUCUNE	Les matériels de classe 0 sont totalement interdits dans toute utilisation professionnelle
I		Mise à la terre	Utilisation possible sur les lieux de travail pour les machines fixes
II		Double isolation	Utilisation possible sur les lieux de travail pour les machines non fixes
III		alimenté en Très Basse Tension de Sécurité	Obligatoire sur les appareils portatifs, non fixes en milieu confiné humide ou mouillé

Selon la norme NF EN 61140

Les matériels électriques les plus utilisés dans les établissements industriels et tertiaires sont ceux de classe I et II.

II-7.1. DEGRES DE PROTECTION DU MATERIEL ELECTRIQUE

Les degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques de tension assignée inférieure ou égale à 72,5 kV sont définis par la norme française NF EN 60529.

Pour symboliser le degré de protection procuré par une enveloppe, il est fait usage des lettres

« IP » (International Protection) suivies de 2 chiffres et d'une ou plusieurs lettres. Plus un chiffre du code IP est grand, meilleure est la protection.

- Degrés de protection IP des matériels électriques
-
- 1er chiffre (compris entre 0 et 6) : protection contre les corps solides ;
- 2e chiffre (compris entre 0 et 8) : protection contre l'eau ;
- Lettre additionnelle (A, B, C ou D) : accès aux parties dangereuses ;
- Lettre(s) supplémentaire(s) (H, M, S ou W) : informations supplémentaires spécifiques

Exemple : signification du degré de protection « IP 34 C »

- IP : « Appareil protégé contre » ;
- 3 : « La pénétration de corps solides d'un diamètre supérieur ou égal à 2,5 mm »
- 4 : « La pénétration des projections d'eau (dans toutes les directions) » ;
- C : « Les contacts directs avec un outil d'un diamètre de 2,5 mm et de 100 mm de long »

Le degré de protection contre les chocs mécaniques est symbolisé par le code IK.

CODE I.K. : La normalisation attribue un indice de protection symbolisé par les lettres IK suivies de deux chiffres qui permettent de vérifier l'aptitude du matériel à résister à un impact mécanique nuisible.[27]

II-8. ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI)

Le Chargé d'Exploitation ou le Chargé de Travaux veillent à l'état des équipements et de l'outillage. Ils remettent aux Exécutants un EPI en bon état. Par ailleurs, l'exécutant, qui veille à sa propre sécurité ne se dégage pas pour autant de ses responsabilités.

Dispositif ou moyen destiné à être porté par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa sécurité ou sa santé.

Le matériel de protection doit être conforme aux prescriptions de la réglementation et aux normes en vigueur quand elles existent.

La protection individuelle ne peut être envisagée que lorsque toutes les autres

mesures d'élimination ou de réduction du risque électrique s'avèrent insuffisantes ou impossibles à mettre en œuvre.

Les conditions de mise en œuvre, le choix et l'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) sont définis par l'employeur après analyse du risque, en suivant les principes généraux de prévention.

Les EPI et les vêtements de travail doivent être appropriés au risque, ainsi qu'aux conditions et caractéristiques particulières du travail, compte tenu de l'état de la technique et des possibilités existant sur le marché.[28]

- **Casque de protection**

Souvent obligatoire au sein d'une entreprise industrielle ou d'un chantier.

Protection contre les chocs mécaniques, mais également contre les chocs électriques lors de travaux ou d'interventions dans une armoire électrique (jeux de barres..), dans une enceinte conductrice exigüe (défaut masses métalliques), sur une ligne aérienne BT.

Ce casque a pour but de protéger la tête contre les risques de contacts directs avec des pièces nues sous tension.

Pour la basse tension, les casques isolants font l'objet d'un marquage réglementaire et d'un marquage normatif conformes à la norme NF EN 50365.

En haute tension, les casques isolants font l'objet d'un marquage réglementaire mais pas d'un marquage normatif. Ils font l'objet d'un marquage du fabricant suivant leur spécification technique.

On reconnaît un casque basse tension répondant aux exigences de sécurité aux points suivants

: le marquage CE, la classe 0, le double triangle et la référence à la norme NF EN 50365.

- Il doit être utilisé chaque fois qu'il y a risque de chute ou de heurt.
- Il doit être conforme à la norme NF EN 397 Août 2000.

L'emploi, l'entretien, le stockage, la vérification et les limites d'utilisation de ces casques doivent tenir compte des prescriptions de la notice d'instructions du fabricant.

- **Gants isolants**

Adaptés à la tension, en bon état, jamais réparés, contrôlés avant chaque utilisation. Obligatoires pour tout travail ou intervention en zone de voisinage.

Les gants sont de bonne taille et recouvrent correctement les avant-bras.

Ces gants ont pour but de protéger les mains contre les risques de contact direct avec des pièces nues sous tension.

Il existe des gants isolants sans protection mécanique et des gants composites avec protection mécanique (ces derniers comportent un symbole particulier, deux types de gants font l'objet d'un marquage réglementaire et d'un marquage normatif conformes à la norme NF EN 60903. Les gants sont classés et repérés en fonction de leur tension maximale d'emploi :

- Ils doivent être adaptés à la tension des installations ou équipements sur lesquels sont effectués les travaux ou interventions.
- Ils doivent être vérifiés avant chaque emploi (ne pas présenter de trous ou de déchirures).
- Ils doivent être rangés dans les boîtiers ou sachets de protection.
- Ils doivent être conformes à la norme NF EN 60903 Novembre 1997 (depuis Octobre).
- **Équipement de protection oculaire et faciale**

Cet équipement a pour but de protéger les yeux et la face, notamment contre les causes d'accidents suivantes :

- Projections de particules solides de basse énergie (symbole F - bille de diamètre 6 mm à 45 m/s) ; de moyenne énergie (symbole B d'une - bille de diamètre 6 mm à 120 m/s) ; de haute énergie (symbole A - bille de diamètre 6 mm à 190 m/s) ;
- Arc électrique, de 12 kA max à 400 V 50 Hz, d'une durée d'1 s, caractérisé par le symbole 8 ;
- Emission d'UV et classe optique de niveaux 2-1,2 ou 3-1,2 (numéro des échelons des filtres Ultra Violet).

Les écrans faciaux sont classés en fonction de leur niveau de protection pour chaque effet cité ci-dessus.

L'opérateur doit utiliser une protection oculaire et faciale en rapport avec les risques inhérents à son opération.

On reconnaît une protection oculaire et faciale répondant aux exigences essentielles de sécurité aux points suivants : marquage CE, référence à la norme NF EN 166. Dans le système de codification propre à la norme NF EN 166, le chiffre 8 représente la protection contre l'arc électrique.

L'emploi, l'entretien, le stockage, la vérification et les limites d'utilisation de ces écrans doivent tenir compte des prescriptions de la notice d'instructions du fabricant.

Les lunettes, tout en protégeant l'œil, ne remplissent pas les exigences essentielles de sécurité pour les électriciens BT.[28]

- **Lunettes anti-UV**
- Contre l'effet de l'arc électrique sur les yeux, les projections de matière en fusion lors d'un court-circuit.
- Obligatoires pour tout travail ou intervention en zone de voisinage.
- Dans des zones à haut risque (fort courant de court-circuit), les lunettes sont remplacées par une visière anti-projection. Cette dernière peut quelquefois faire office d'écran anti-UV.
- **Habillement**
- L'opérateur doit porter une tenue adaptée aux arcs électriques et projections de matière en fusion.
- L'habillement recouvre tout le corps (col fermé, manches longues, ensemble boutonné).
- **Grimettes ou étriers à grilles**
- Les pointes des grimettes pour poteaux bois doivent être acérées.
- Tous défauts des parties métalliques ou autres doivent entraîner une réparation ou le rebut.

La conformité du matériel à la norme NF S 71-012 est requise.

- **Chaussures isolantes**

Même en matière isolante les chaussures dites de sécurité ne peuvent être considérées comme efficaces contre le choc électrique via la terre (perforation sournoise par objet métallique pointu..)

Ces chaussures ont pour but d'isoler l'opérateur du sol, afin qu'il ne soit pas traversé par un courant électrique venant d'un retour à la terre par les pieds, en cas de contact direct ou indirect.

En basse tension, les chaussures isolantes font l'objet d'un marquage réglementaire et d'un marquage normatif conformes à la norme NF EN 50321. *Figure II.72*

En haute tension, il existe des bottes isolantes protégeant contre la tension de pas ou la tension nominale. Elles font l'objet d'un marquage réglementaire, mais pas d'un marquage normatif. Elles font l'objet d'un marquage du fabricant fonction de leur spécification technique.

L'emploi, l'entretien, le stockage, la vérification et les limites d'utilisation de ces chaussures doivent tenir compte des prescriptions de la notice d'instructions du fabricant. [30]



Figure II.72: Equipements de protection individuelle pour les travaux sous basse tension

II-9. PROTECTIONS COLLECTIVES ET L'OUTILLAGE

Les équipements de protection collective ont pour fonction principale de protéger d'un danger particulier n'importe quelle personne dans un système de travail, en lui laissant un espace de liberté. Cette protection est durable.

- **Écrans, grillages de protection et protecteurs isolants**

Les écrans sont des Obstacle de non-franchissement en :

- Matériau isolant ou isolé ;
- Matériau conducteur mis à la terre ;
- Utilisation de nappe isolante ou d'écran isolant rigide lors d'une intervention afin d'isoler l'opérateur des pièces nues sous tension (exemple : opération en hauteur sur conducteurs nus).
- Sur certains coffrets de distribution le retrait des écrans place l'opérateur en zone de voisinage. Il est alors conseillé de ne retirer que les écrans nécessaires à l'opération.

Les écrans et grillages de protection provisoire, destinés à isoler une zone de travail de tout contact fortuit avec des pièces ou des conducteurs sous tension, peuvent être en matériaux isolants (bois bakéliné, matières plastiques expansées, fibre de verre, etc.). Ils permettent de créer une enceinte isolée à l'intérieur de laquelle les travailleurs peuvent évoluer en sécurité ou, inversement, de limiter une zone dans laquelle tout déplacement, toute intervention sont interdits à quiconque.

D'autres systèmes de protection isolants consistent, pour les tableaux de distribution à basse tension, de contrôle ou de comptage, ainsi que pour les câbles souterrains, en des nappes isolantes vinyliques éventuellement maintenues par des pinces en bois, des tapis isolants (NF C 18-420).

Pour les réseaux aériens, ce sont des profilés isolants pour les conducteurs (NF C 18-425) et des capuchons isolants pour les isolateurs qui permettent de mettre le ou les opérateurs à l'abri des contacts électriques, sans préjudice des mesures de protection individuelles à prendre dans le cas de travaux sous tension. Pour isoler les extrémités de conducteurs isolés ou protégés, en attente de mise en place sur les appareils de jonction, lors de raccordement sous tension, il est recommandé d'employer de petits capuchons protecteurs isolants adaptés à la section du câble. *Figure II.73* [26]

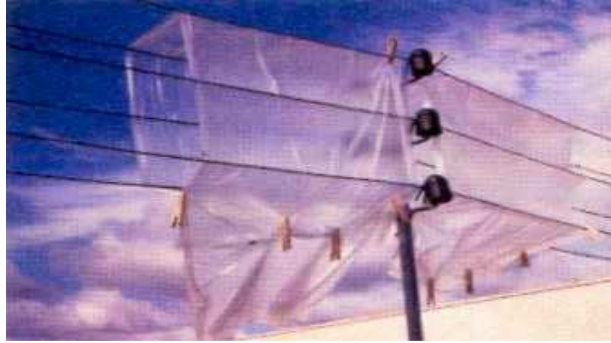


Figure II.73. Nappes, capuchons et pincettes

- **Matériel de condamnation des appareils**

Il est nécessaire, en vue d'un travail hors tension sur une machine (une installation électrique), de procéder à la coupure des circuits électriques afin de séparer de toute source possible de courant la partie de l'ouvrage (de l'installation) sur laquelle on doit travailler

Quand l'opérateur s'est assuré que la coupure a été correctement effectuée, phase par phase y compris le neutre et les circuits auxiliaires le cas échéant, il procède à la condamnation en position d'ouverture de cet (ces) appareil(s) par verrou ou cadenas personnel et appose une pancarte très lisible portant une inscription telle que « Appareil condamné – Défense de manœuvrer ».

Cette pancarte constitue la protection minimale dans le cas où il n'est pas possible d'immobiliser matériellement les appareils de coupure (cas des sectionneurs à commande par perche ou des interrupteurs dont la poignée n'est pas adaptée à cet effet).

- **Outillage isolant ou isolé à main pour travaux électriques BT**

Un outil isolant à main est conçu pour ne pas mettre son utilisateur en contact avec une partie conductrice et pour empêcher la formation d'arc électrique lors des opérations électriques.

Un outil isole à main est conçu pour ne pas mettre son utilisateur en contact avec une partie conductrice et pour limiter la formation d'arc électrique lors de leur utilisation.

Un outil isolant ou un outil isole a main ne fait pas l'objet d'un marquage réglementaire, mais d'un marquage normatif conforme à la norme NF EN 60900.

On reconnaît un outil isolant ou un outil isole a main pour les opérations électriques BT répondant aux exigences essentielles de sécurité aux points suivants : le double triangle, l'information « 1 000 V », la date de fabrication et la référence à la norme NF EN 60900.

- Dispositifs mobiles de mise à la terre et en court-circuit (MALT et CCT)

Ils sont mis en place pour protéger le personnel contre :

- Un renvoi de tension,
- Les surtensions atmosphériques,

- Les phénomènes d'induction.
- Mise en œuvre
- La MALT et COT se tait au plus près du chantier ;
- L'opérateur s'assurera du bon état du dispositif ;
- Ce dispositif doit être d'un modèle spécialement étudié pour que l'opérateur reste isolé des parties actives (utilisation de perche isolante adaptée à la tension) ;

- **L'opérateur doit dans l'ordre**

1. Fixer l'étau de terre en assurant un bon contact :

- Aux masses existantes sur le lieu de travail ;
- Ou à un piquet métallique enfoncé dans le sol.

2. dérouler les conducteurs du dispositif ;

3. fixer les pinces de contact sur les conducteurs à l'endroit où à lieu la VAT avec des outils ou perches isolantes (en BT des pinces peuvent être placées à la main si l'opérateur porte des gants isolants). *Figure II .74*

- Entretien et vérification périodique des dispositifs MALT et CCT

Tous les ans :

- Graisser la visserie des étaux et des pinces ;
- Remplacer le câble lorsque le contrôle visuel du câble de cuivre n'est plus possible au travers de la gaine ;
- Reprendre les connexions si nécessaire (brins coupés) ;
- Vérifier le serrage des connexions.

- Balisage des zones:**
- Le repérage des zones de travail sur et autour des ouvrages lors de travaux et interventions nécessitent un balisage ;
- Les indications et divers signaux doivent être placés à des emplacements adéquats par un chargé de travaux ou un chargé d'interventions ;
- L'entrée dans une zone de travail doit être clairement délimitée ;

- Ce balisage est réalisé par**
- Des barrières,
- Des banderoles,
- Des pancartes

- Signaux et pancartes

Les informations, avertissements et interdictions nécessaires à la sécurité du travail sont de deux types :

- Les disques d'interdiction, à couleur de fond blanc avec symbole noir et cercle et barre transversale rouges;

- Les triangles d'avertissement ayant une couleur de base jaune et une couleur complémentaire noire signalant la présence d'un danger éventuel.

Des pancartes complémentaires rectangulaires peuvent apporter des précisions aux signaux précédents.

Ces signaux et pancartes ont fait l'objet de l'arrêté du 4 novembre 1993.

Les outils, le matériel, les équipements de travail et les vêtements de travail mis à la disposition du personnel par l'employeur doivent :

- Respecter la réglementation et l'état de l'art qui les concernent (marquage CE, conformité aux normes, prescriptions de conception) ;
- Etre adaptés aux opérations à réaliser ;
- Etre utilisés en respectant les notices d'instructions de leurs fabricants ;
- Etre entretenus conformément aux notices d'instructions de leurs fabricants et aux instructions de sécurité de l'établissement ;
- Etre vérifiés conformément aux exigences réglementaires en vigueur, aux notices d'instructions de leurs fabricants et aux instructions de sécurité de l'établissement.[26]



L'échelle isolante cadenas de consignation Les perches isolantes

Figure II .74 -a : Outils isolants



Figure II .74-b : Outils isolants

II-10. EQUIPEMENTS INDIVIDUELS DE SECURITE (EIS)

- **Tapis isolants et tabourets**
- Les tabourets utilisés en BT ou en HT sont adaptés aux domaines de tension.
- En cas d'intervention au voisinage de la BT, placer un tapis isolant pour protéger l'opérateur d'un éventuel contact «corps - terre ». *Figure II.75*



Figure II.75. Tapis isolants

Un tabouret isolant a pour but d'isoler l'opérateur du sol, afin qu'il ne soit pas traversé par un courant électrique, en cas de contact direct ou indirect.

Le tabouret isolant ne fait pas l'objet de marquage réglementaire ni d'un marquage normatif, mais d'un marquage du fabricant fonction de sa spécification technique (référence du fabricant, tension nominale d'utilisation, etc.).

L'emploi, l'entretien, le stockage, la vérification et les limites d'utilisation de ce tabouret isolant doivent tenir compte des prescriptions de la notice d'instructions du fabricant.

Les tabourets isolants doivent être adaptés à la tension nominale des ouvrages ou des installations qui motivent leur emploi.

Avant l'emploi d'un tabouret isolant, il faut s'assurer de sa stabilité et de son état de propreté. Il faut se placer bien au centre du tabouret pour avoir une bonne stabilité. *Figure II.76*



Figure II.76. Tabouret isolant

- **Vérificateur d'absence de tension (VAT)**
- Vérifier leur fonctionnement et les maintenir en bon état.
- Les appareils de mesurage ne sont pas des VAT et vice versa.
- En BT les gants isolants sont obligatoires s'il y a risque de contact avec des pièces nues sous tension.

La conformité du matériel aux normes NF EN 61243-3 Mai 2000 en BT et NF EN 61243-1 Novembre 1997 et NF EN 61243-2+A1 en HT est requise.

Pour assurer l'entretien périodique annuel des VAT, il faut remplacer les piles et vérifier le détecteur. *Figure II.76*



Figure II.76 : Vérificateur d'absence de tension en BT

- Tresse de mise en court-circuit et à la terre des conducteurs actifs : **MALT – CC**

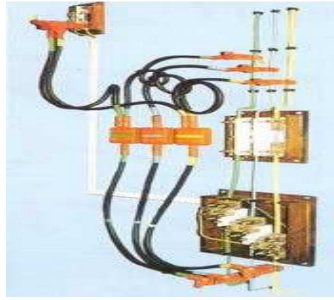


Figure II .77 : Tresse de mise en court-circuit et a la terre des conducteurs actifs

- Utiliser le macaron de consignation, Utiliser des cadenas et des étiquettes de consignation
- **Outils isolants**

Ils sont conçus pour ne pas mettre son utilisateur en contact avec une partie conductrice et pour limiter la formation d'arc électrique. *Figure II .78*

- Ils doivent être adaptés à la tension des installations sur lesquelles on effectue les travaux ou interventions ;
- Ils doivent être en parfait état.

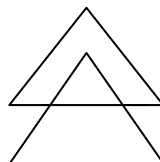


Figure II .78 : Outils isolant

Ils doivent être remplacés dès que la couche blanche devient visible.

C'est un matériel à isolation renforcée, afin d'éviter la mise en contact accidentelle de pièces portées à des potentiels différents ; il est marqué de 2 triangles croisés. Ce matériel est adapté aux travaux ou interventions en zone de voisinage BT.

Symbole outillage :



II-11. EQUIPEMENTS COLLECTIFS DE SECURITE (ECS)

Les équipements de protection collective (EPC) sont des dispositifs techniques qui isolent un danger des personnes potentielles exposées à ce même danger. Le recours à un EPC protège toute personne se trouvant à proximité du danger. C'est une grande différence qui le distingue d'un équipement de protection individuelle, lequel n'est destiné qu'à protéger individuellement le travailleur qui le porte contre des dommages.

La fonction principale des équipements de protection collective consiste à réduire à un niveau acceptable les risques auxquels les travailleurs sont exposés.

Les équipements de protection collective ont une ou plusieurs des fonctions suivantes:

- Eviter l'accès à une zone de danger: veiller à ce que des personnes ou des parties du corps (les mains, par exemple) ne puissent se trouver à un endroit dangereux;
- Recueillir les matériaux, éléments et liquides projetés;
- Réduire les émissions de bruit, de rayonnement, de produits dangereux, de poussière, de gaz, ...
- Eliminer le danger avant que la zone de danger soit atteinte.

Par exemple: les capots de protection des parties mobiles des machines, les enceintes de confinement des sources de bruit, les garde-corps bordant les échafaudages et les installations d'aspiration de substances dangereuses.

Le plus important est que les travailleurs reçoivent les instructions et formations nécessaires pour utiliser de manière correcte et en toute sécurité les équipements de protection collective mis en place au sein de l'entreprise. Ce n'est qu'à cette condition que la sécurité dans l'environnement de travail pourra s'améliorer et qu'il sera possible de réduire le nombre d'accidents de travail et de situations dangereuses. *Figure II .79*

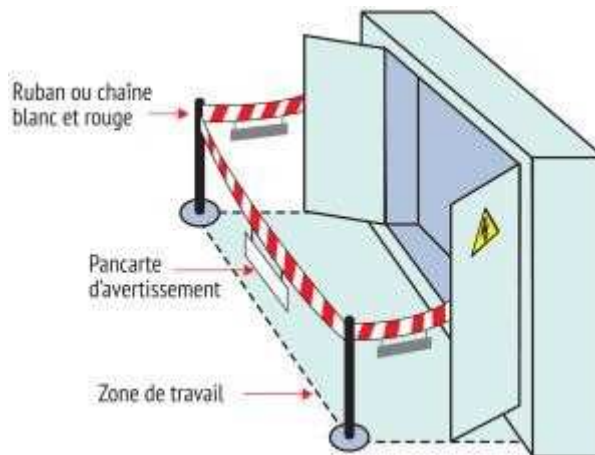


Figure II .79 : Balisage

V-12. CONCLUSION

Au cours d'opérations de quelque nature que ce soit, le personnel peut être amené à s'approcher de pièces nues sous tension.

Pour tenir compte des risques résultant de cette éventualité, la notion d'environnement a été introduite. Des zones précises ont été définies parmi lesquelles apparaît la zone de voisinage. Ces zones et les règles particulières d'accès font l'objet du présent fascicule.

Pour la définition de ces zones, on ne prendra en compte que les pièces nues sous tension ne répondant pas aux critères d'inaccessibilité définis par l'indice de protection des obstacles soit :

- Pièces accessibles en basse tension (BT) $IP < IP\ 2x$,
- Pièces accessibles en haute tension (HT) $IP < IP\ 3x$.

Il est préférable, dans la mesure où aucun impératif d'exploitation ou de sécurité n'existe, d'éliminer les risques liés au voisinage de pièces nues sous tension en procédant :

- Soit à la consignation de l'ouvrage,
- Soit à la mise hors de portée par éloignement, isolation ou interposition d'obstacles.

Dans les cas où les risques ne peuvent être supprimés, il sera tenu compte de la présence éventuelle dans le voisinage d'installations de caractéristiques et de tensions différentes.

Les mesures de prévention à mettre en œuvre seront celles prévues pour la zone la plus contraignante.

CONCLUSION GENERALE

Bien que la réglementation soit très exigeante en matière de sécurité électrique et malgré l'application intégrale des mesures de sécurité relatives aux travaux hors tension, sous tension et au voisinage, les accidents électriques n'ont pas été restreints comme on pouvait l'espérer ; cela est dû, d'un côté, à la complexité du grand nombre de mesures, normes et réglementations à appliquer, auquel il faut ajouter les erreurs humaines (d'inattentions ou d'oublis) et matérielles (panne ou phénomènes extérieurs type induction, surtension, effets capacitifs, etc.), d'un autre côté.

Pour assurer une sécurité maximale, que ce soit du personnel au sein du domaine de travail ou dans le domestique, et avant même d'intégrer les mesures de protection dans les processus opératoires, il faut construire une base de sécurité fondée sur des conditions préalables rigoureuses, en particulier l'information et la formation du personnel, la qualification professionnelle c.à.d. avoir des compétences et des connaissances adéquates dans le domaine électriques. Cette aptitude professionnelle doit être contrôlée, révisée et validé par la délivrance d'une habilitation par le chef d'entreprise.

La sécurité impose d'être exigeant au niveau de la conception des équipements électriques afin de garantir que l'utilisation du produit ne présente aucun danger pour l'utilisateur et d'assurer son entretien électrique à temps réguliers, de respecter les distances d'isolement afin d'éviter tout contact avec les tensions dangereuses, de réaliser la liaison à la terre des parties conductrices accessibles pour que ces parties ne deviennent pas dangereuses suite à un défaut, de mettre en fonctionnement un disjoncteur différentiel pour protéger les personnes, de toujours travailler hors tension, sauf cas exceptionnels, ... etc. Ceci doit être complété par une organisation du travail qui exige une préparation minutieuse et l'élaboration de techniques opérationnelles précises.

Cette conception moderne de la sécurité du travail, par une intégration des prescriptions de sécurité dans le processus technologique, rentre dans le cadre de l'application de la conception ergonomique du travail.

Nombreuses sont les règles d'or de la sécurité pour les interventions lors des travaux hors tension, sous tension et au voisinage, dont il faut absolument respecter les prescriptions.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Histoire-de-l-electricite.html>
- [2] B Jérémy , MD Thibault «TECHNOLOGIE HISTOIRE DES SOLUTIONS : COMMENT PRODUIRE DE L'ELECTRICITE ? »
- [3] http://www.techmania.fr/edf_ecole_energie/accessibilite/mod2_chap2.htm [en ligne]
- [4] Grégoire Wallenborn (CEDD/IGEAT – ULB) , Catherine Rousseau, Héléne Aupaix (CRIOC) Karine Thollier, Pascal Simus (ICEDD) «RAPPORT FINAL : DETERMINATION DE PROFILS DE MENAGES POUR UNE UTILISATION PLUS RATIONNELLE DE L'ENERGIE CP/50» Août 2006
- [5] <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectricit%C3%A9#Nature>
- [6] <https://www.connaissancedesenergies.org>
- [7] <https://www.greenfacts.org/>
- [8] <https://www.alloprof.qc.ca>
- [9] <http://uel.unisciel.fr>
- [10] Document "manuel de prévention des risques" édité en juin 1998. Ce document a été réalisé par des ingénieurs hygiène et sécurité des établissements d'enseignement supérieur.
- polycopier_production-de-l'énergie-électrique.pdf
- [11] D. FOLLIOU, "Les accidents dus à l'électricité ", Encyclopédie médicochirurgicale, Intoxications, pathologies du travail, maladies par agents physiques, Éditions techniques, 1991.cours lhaçana narimen-reseau_electrique.pdf
- [12] F. GUILLON, D. FOLLIOU et coll., "Risque électrique ", PROPHYL Santé n°18, pp. 6-35, 2000
- [13] SANDRINE HARDY, JEAN-LUIS POYARD ; « L'électricité » INRS novembre 2019
- [14] www.inrs.fr/risques/electriques.html
- [15] www.inrs.fr/risques/travail-ecran
- [16] Fichier "évaluation des risques : notions de bases et méthodologie "; <http://www.intefp-sstfp.travail.gouv.fr/>
- [17] Agence européenne pour la sécurité et la sante au travail ; <https://www.oiraproject.eu/fr/purpose-risk-assessment.com>;

Bibliographie

- [18] Document “ Opérations sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique - Prévention du risque électrique” Editée et diffusée par l'Union Technique de l'Electricité (UTE) ; 2012. Internet : <http://www.ute-fr.com/>
- [19] LP Arago - NANTES - BEP Systèmes Electroniques Industriels et Domestiques
- [20] R. AUBER, C. ATLANI, "Prévention des accidents électriques", Les Techniques de l'ingénieur, Génie électrique D 5100 et D 5101, 39 p, 1996
- [21] <https://www.comite-tst.com/le-comite-des-tst>.
- [22] R. AUBER et C. RÉMOND, “ Installations électriques à basse tension. Choix et mise en oeuvre des matériels“, Technique de l'ingénieur, Traité Génie électrique D 5 034 – D 5 035, 1993
- [23] Jacques TONNER ; conception prévention des risques professionnels ; réalisation chainographique; 2-ème édition 2004
- [24] Saadi S., 1997, Méthodologie d'intervention pour l'étude de la sûreté de fonctionnement des ouvrages d'épuration et de la sécurité de l'environnement. Mémoire de Magister soutenu à l'Institut IUH&S de l'Université de Batna, Algérie.
- [25] HOMBERGER, E., Les dangers de l'électricité, cahiers suisses de la sécurité de travail, caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, 1986.
- [26] [http://www.inma.fr/Equipement de protection collective électrique](http://www.inma.fr/Equipement%20de%20protection%20collective%20electrique)
- [27]<http://pamelard.electro.pagespersoorange.fr/fichier%20pdf/habilitation/Les%20risques%20electriques.pdf>
- [28] ROGER CADIERGUES « La Sécurité Electrique » (Guide RefCad : nR22.a)
- [29] Jean-Michel DELBARRE , Postes à haute et très haute tension, Technique de l'Ingénieur(D4 570). [st06_lessons_ge-reseaux_transport.pdf](#)
- [30] <https://www.seton.fr/prevention-risques-electriques.html>
- [31] [http://www.beswic.be/Equipement de protection collective et individuelle](http://www.beswic.be/Equipement%20de%20protection%20collective%20et%20individuelle)
- [32] Travaux encadrés d'alternants réalisés dans le cadre du module « Facteurs de risques et Prévention » Master IS-PRNT – Année 2017/2018 ; Campus temon Marseille.
- [33] : Michel Aguet et Jean-Jacques Morf, Energie Electrique, Traite d'électricité, Volume XII, presses polytechniques et universitaires romandes, 2008.
- [34] <http://www.inrs.fr/risques/electriques/prevention-risque-electrique>
- [35] Patrick ABATI « sécurité électrique – habilitation » 2001

Bibliographie

- [36] Brion, Jean-Pierre. 1992. « Protection individuelle ou facteur de risque? ». *Maîtriser le risque au poste de travail*, p. 363-367.
- [37] Arteau, Jean, Yves Beauchamp, Ian Langlais et Frédéric Vachon. 2002. « Harnais pour élagueur ». Commission de la santé et de la sécurité du travail. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail.
- [38] Villemeur A., 1988, *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels ; Fiabilité, Facteurs Humains, Informatisation*, Editions Eyrolle, Paris (France).
- [39] Tayeb, BELLOULA, *La Réparation Des Accidents Du Travail et Des Maladies Professionnelles*, édition DAHLAR, 1993.
- [40] Michel, BERTHET et Anne-Marie, GAUTIER, *L'expression aux risques professionnels*, éd Liaison, 2000.
- [41] Caby, B., et al., Feature extraction and selection for objective gait analysis and fall risk assessment by accelerometry. *BioMedical Engineering Online*, 2011. 10(1): p. 1.
- [42] Sabrina AUDUBERTEAU et Karine GAVINO, *la prévention des risques professionnels : Hygiène et sécurité au travail*, édition afnor, 2003.