



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 و الأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département : Sécurité Industriel et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et sécurité Industriel

Spécialité : sécurité industriel

Thème

Analyse et Prevention Des Risques Electriques Dans La Maintenance Des TRAMWAY

Présenté et soutenu publiquement par

Mokeddem Bouziane Abdel Hadi Mounir

et

Mesraoui Ahmed amine

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Djelghoum Farida	MAA	Université Oran 2	Président
Labair Hakima	MAB	Université Oran 2	Encadreur
Mimouni Chahinez	MAB	Université Oran 2	Examineur

Année 2020/2021

Résume :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'analyse et la prévention des risques électrique de maintenance du tram, collecté a des lois, décret et de réglementation qui ont donner l'habileté pour bien compris comment analyser les risques électrique.

Selon les données obtenues à partir de nos questionnaires avec l'ingénieure HSE de société CITAL ORAN, et à travers les enquêtes que nous avons menées sur le terrain, et les recherches dans le WEB, Nous avons conclu que le risque électrique peu avoir une bonne méthode d'analyse et faire la bonne prévention contre ces risques

Mots clés : analyse, prévention, HSE, cital, décret, réglementation.

Summary :

The objective of this work is to study the analysis and prevention of electrical risks of tram maintenance, collected from laws, decrees and regulations which have given the skill to fully understand how to analyse electrical risks.

According to the data obtained from our questionnaires with the HSE engineer from CITAL ORAN, and through the surveys that we carried out in the field, and the research in the WEB, we concluded that the electrical risk can have a good analysis method and do the right prevention against these risks

Keywords: analysis, prevention, HSE, capital, decree, regulation.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة التحليل والوقاية من المخاطر الكهربائية لصيانة الترام ، والتي تم جمعها من القوانين والمراسيم واللوائح التي أعطت المهارة لفهم كيفية تحليل المخاطر الكهربائية بشكل كامل.

وفقاً للبيانات التي تم الحصول عليها من استبياناتنا مع مهندس HSE من CITAL ORAN ، ومن خلال الاستطلاعات التي أجريناها في هذا المجال ، والبحث في WEB ، خلصنا إلى أن المخاطر الكهربائية يمكن أن يكون لها طريقة تحليل جيدة والقيام الوقاية الصحيحة ضد هذه المخاطر

الكلمات المفتاحية: التحليل ، الوقاية ، الصحة والسلامة والبيئة ، رأس المال ، المرسوم ، التنظيم.

Table des matières

CHAPITRE I

VISION SUR LES RESEAU ELECTRIQUE DE TRAM

I.1Etat de l'Art des réseaux d'alimentation électrique des tramways	14
I.1.1.Une vocation ferroviaire Algérienne.....	14
I.1.1.3.Historique.....	15
I.1.1.4.Production	15
I.2.Ensemble production de l'énergie de traction moderne du Tramway.....	17
I.2.1. Les Sous-stations :.....	18
I.2.2. Sous-système caténaire :.....	18
I.2.2.1. La ligne aérienne de contact :.....	19
I.2.2.2. Alimentations Par le Sol (APS)	20
Système APS d'INNORAIL	20
Système ALISS (ALimentation Statique par le Sol), ALSTOM :	21
I.2.3. Sous-système SCADA :.....	22
I.3.Le matériel roulant :.....	22
I.3.1.Les composants de la rame :	22
I.3.2.Les pièces utilisables :.....	23
I.4.Les Avantages et Les Inconvénients de tramways:	24
I.4.1.Les Avantages :	24
I.4.2.Les Inconvénients.....	25
I.5.Stockage énergétique et production embarquée.....	25
I.5.1. Domaines d'applications	25
I.5.2. Techniques modernes pour le stockage énergétique	26
I.5.2.1.Installation du parafoudre	26
I.5.3. Alimentation embarquée via la pile à combustible	27

CHAPITRE II

La réglementation et l'habilitation électrique

II.1. Les décrets :	29
II.2. Les Normes françaises	29
II.2.1. La norme française	29
II.2.2. Les normes internationales.....	30
II.3. Les arrêtés	31
II.4. Généralités	33
II.4.1. L'habilitation électrique	33
II.4.2. La démarche d'habilitation.....	33
II.4.3. La durée de validité d'une formation et d'un titre d'habilitation.....	34
II.4.4. Les sanctions en cas d'absence d'habilitation électrique.....	34
II.4.5. L'habilitation des travailleurs indépendants.....	34
II.4.6. L'habilitation des travailleurs sous-traitant.....	35
II.4.7. L'habilitation des travailleurs intérimaires.....	35
II.4.8. Habilitation électrique multi-site	35
II.4.9. Formalisation de l'habilitation électrique.....	35
II.5. Les activités nécessitant un titre d'habilitation.....	36
II.5.1. Les conditions requise dl'habilitation	36
II.5.2. Les activités effectué sans habilitation électrique	36
II.5.3. La nécessité de l' habilitation pour travailler en très basse tension (TBT).....	36
II.5.4. La nécessité de l' habilitation pour pénétrer dans un local électrique	37
II.5.5. La nécessité de l' habilitation pour réaliser des travaux hors tension.....	37
II.5.6. La nécessité de l' habilitation pour travailler dans un local informatique ?	38
II.6. Le choix du symbole d'habilitation	38
II.6.1. la signification des symboles d'habilitation électrique	38
II.6.2. le type d'habilitation	40
II.6.3. les équivalences entre les symboles d'habilitation	40

II.6.4.les symboles d’habilitation électrique pour le travail à proximité de réseaux enterrés	40
II.6.5.les personnes concernées par les symboles B0, H0 et H0V	41
II.6.6.L’ habilitation nécessaire pour faire un dépannage	41
II.6.7.les symbole d’habilitation est requis pour consigner pour soi-même et pour les autres	42
II.6.8.Le type nécessaire d’habilitation pour effectuer des travaux sous tension	42
II.7.La formation	42
II.7.1.Le choix des profils des salariés à habilitier pour mettre en place la formation adaptée.....	42
II.7.2.Le personne avertie ?	42
II.7.5.le contenu de la formation préalable à l’habilitation.....	43
II.7.6.les durées des formations initiales et les périodicités de recyclage.....	43
II.8.Les opérations « simples »	43
II.8.1.les symbole d’habilitation nécessaire pour réarmer un disjoncteur en basse tension.....	43
II.9.Les interventions	44
II.9.1.les limites du symbole d’habilitation BS	44
II.9.2.la différence entre le symbole BS et le symbole BE Manœuvre.....	44
II.9.3.les limites de l’habilitation BR ?	45
II.9.4.Le symbole nécessaire pour un électricien qui intervient sur une installation avec disjoncteur supérieur à 32 A et 63 A.....	45
II.10.Les opérations spécifiques	45
II.10.1.le symbole BE Manœuvre.....	45
II.10.2.le symbole HE Manœuvre	46
II.10.3.le symbole BE Mesurage.....	46
II.10.4.le symbole BE Vérification	46
II.10.5.le symbole BE Essai.....	46

CHAPITRE III

RISQUES ELECTRIQUES

Introduction :	49
----------------------	----

III.1.Définition du risque électrique :	49
III.2.Nature des accidents électriques :	50
III.3.Les effets du courant électrique :	50
III.3.1.Effets physiologiques :	51
L'électrisation :	51
III.4.Types de contact :	52
III.4.1.Contact direct.....	52
III.4.2.Contact indirect	53
III.5.Effets sur l'environnement	54
III.5.1.Les incendies.....	54
III.5.2.Les explosions :	55
III.6.Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain :	55
III.7.Analyse d'accidents d'origine électriques :	57
III.7.1.Par contact direct :	57
III.7.1.1Électrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant	57
III.7.1.2.Travail sous tension :	58
III.7.2.Par contact indirect :	59
III.7.2.1.Eclairage provisoire dans un local mouillé :	59
III.7.2.2.Electrocution dans une filature :	60
III.7.3.Brûlure, incendie ou explosion d'origine électrique :	61
III.7.3.1.Enlèvement d'un fusible en charge :	61
III.7.3.2.Ouverture d'un sectionneur en charge :	61
III.8.Analyse des accidents d'origine électrique à CYTAL :	62
III.8.1.Explosion fusible transformateur de potentiel centrale utilité CU2 :.....	62
III.8.2.Mode de fonctionnement du transformateur de potentiel (TP):.....	64
III.8.3.Incident salle électrique coffret compresseur :	65
III.8.4.Rapport investigation incident salle électrique partie commune NINA :	67
III.9.Conclusion :	68

CHAPITRE IV

LES METHODES D'ANALYSE DES RISQUES ET APPLICATION DE L'AMDEC

IV.1.Classification des méthodes d’analyse des risques :	72
IV.1.1Méthodes quantitatives :	72
IV.1.1.1.Méthode qualitatives :	73
IV.1.1.2.Méthode semi-quantitatives :	73
IV.2.Différentes méthodes d’analyse des risques :	73
IV.2.1.Analyse préliminaire des risques : (APR)	74
IV.2.1.1.Mise en œuvre de la méthode :	74
IV.2.2.HAZOP (hazard and operability study) :.....	75
IV.2.3.Méthode “ WHAT IF? ” (que se passe-t-il si ?) :.....	76
IV.2.4.Arbre de défaillances (fault tree analysis) :.....	77
IV.2.5.Modification de la structure de l’arbre par adjonction de barrières supplémentaires.....	77
IV.2.6.Arbre des événements (event tree) :.....	78
IV.3.AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) Failure modes and effects analysis (FMEX) :.....	81
IV.3.1.Types de L’AMDEC :.....	82
IV.3.1.2.L’AMDEC organisation :	82
IV.3.1.4.L'AMDEC processus :	82
IV.3.1.5.L’AMDEC moyen :	82
IV.3.1.6.L’AMDEC service :	82
IV.3.1.7L'AMDEC sécurité :	82
IV.3.2.Les aspects de la méthode :	82
IV.3.2.1.L’aspect qualitatif :	82
IV.3.2.1.L’aspect quantitatif :	83
IV.3.3.Mise en œuvre de la méthode :	83
IV.4.Etude de la criticité :.....	84
IV.4.1.L’indice de non-défectabilité (Probabilité) :	86
IV.4.2. L’indice de fréquence :	87
IV.4.3.L’indice de gravité :	88

Liste des tableaux

Tableau 4.1 : comparaison entre les méthodes d'analyse des risques	80
Tableau 4.3 : évaluation de la non-détection	86
Tableau 4.4 : Evaluation de la fréquence.....	87
Tableau 4.5 : Evaluation de la gravité.....	88
Tableau 4.6 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités	92
Tableau 4.7 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 4.8 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités	94
Tableau 4.9 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités	95
Tableau 4.10 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités	96
Tableau 4.11 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités	97
Tableau 4.12 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités	98
Tableau 4.13 Résultats avant l'application de l'AMDEC	99
Tableau 4.14 Résultats après l'application de l'AMDEC	100

Liste des figures

Figure I-1: Schéma de principe d'un groupe redresseur traction [13].....	18	
Figure 1-2 : Support latéral d'une ligne aérienne de contact	19	
Figure I-3 : La ligne aérienne de contact [5].....	20	
Figure 1-4 : Système APS d'INNORAIL	21	
Figure 1-5 : Coupe transversale d'ALISS	Figure 1-6 : Module ALISS	Figure
1-7 : Schéma de puissance d'un module ALISS	21	
Figure I-8 : Système de contrôle et d'acquisition de données [4].	22	
Figure I-9: exemple des cabines du tramway CITADIS 302 ALSTOM.....	23	
Figure I-10: Les pièces utilisables	24	
Figure I.13	26	
Figure I.14 : Composants d'un système Pile à Combustible.....	27	
Figure 3.1 : Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain	50	
Figure 2.2 : mécanisme d'électrification.....	51	
Figure 2.3 : mécanisme d'accident avec contact direct.....	52	
Figure 2.4 : Les différentes façons d'électrification avec des contacts directs	53	
Figure 2.5 : Les différentes façons d'électrification avec des contacts indirects	53	

Figure 2.6 Electrocutation mortelle.....	54
Figure 2.7 Explosion d'origine électrique	55
Figure 2.9 : Electrocutation par ligne de contact alimentant un pont roulant.....	57
Figure 2.10 : travail sous tension dans un sous sol	58
Figure 2.11 : Electrocutation dans une filature	60
Figure 2.12 : schéma du Transformateur de potentiel	64
Figure 2.13 : causes de l'accident salle électrique CU2.....	65
Figure 2.14 incident salle électrique coffret compresseur.....	66
Figure 3.15 Les causes de l'incident partie commune NINA	67
Figure 4.1 : processus d'analyse des risques.....	71
Figure 4.2 : Typologie des méthodes d'analyse de risque	72
Figure 4.4 Histogramme des statistiques de la criticité avant l'application de l'AMDEC	102
Figure 4.5 Histogramme des statistiques de la criticité après l'application de l'AMDEC.....	103
Figure 4.6 : Histogramme de comparaison de criticité avant et après l'application.....	103

DÉDICACE

Je suis très heureux de pouvoir dédier cet honorable travail aux être les plus chers à mon cœur :

À mes très chers mon père et ma mère

À mes chers sœurs Manel, Asma, Chaïma et Marwa.

À tous les membres de ma famille, petits et grands

À mon binôme Mokeddem Bouziane Abdelhadi Mounir et sa famille

À mes chers amis Anwar, Abdellah, Omar, Mustapha.

À tous mes chers collègues de la promotion 2021 de l'institut de maintenance et sécurité industrielle d'Oran.

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.

À tous ceux qui m'ont enseigné le long de ma vie scolaire.

Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Mesraoui Ahmed Amine

DÉDICACE

A tous ceux qui ont voulu que ce travail leur soit dédié, c'est parti

Mokeddem bouziane abdel hadi mounir

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu le tout-puissant de nous avoir donné le courage, la force, la santé et la persistance.

Mes premiers remerciements iront à notre chère directrice de mémoire Madame LABAIR Hakima qui m'a fait confiance en acceptant de m'encadrer sur ce sujet. Je lui suis très reconnaissant de m'avoir orienté, aidé et pour sa patience. Ses remarques pertinentes et son esprit de synthèse m'ont permis d'avoir une autre vision sur la problématique. Je la remercie pour le temps qu'elle a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres de jury qui ont bien voulu corriger et évaluer mon travail, je leur exprime toute ma gratitude.

Un merci spécial est adressé à Monsieur MOKHTARI Ahmed, ingénieur principal dans Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers.

Je remercie également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail. Je pense notamment à toute l'équipe de CITAL d'Oran pour sa gentillesse et son aide.

Je suis enfin très reconnaissant envers ma famille, en particulier mes parents, mes frères et mes sœurs, sans oublier mes amis pour le soutien qu'ils m'ont apporté durant toute la durée de ce travail.

INTRODUCTION GENERALE

Les transports en commun sont une solution pour limiter la consommation énergétique et les dépenses liées au transport. C'est tout particulièrement le cas du tramway qui est devenu un moyen de transport que plusieurs villes adoptent de nos jours. C'est un moyen de transport écologique qui offre une alternative intéressante notamment pour désengorger les centres villes.

Le déplacement de tramway est basé sur la traction électrique assurée par des moteurs électrique associés à des variateurs de vitesse. L'objet de notre mémoire est l'étude des risques industriels qui constitue un problème de maîtrise de sécurité totale, parmi ces risques on apprécie les risques électriques qui ont un facteur de gravité très important sur les travailleurs et le matériel de transport et particulièrement les tramways.

Ce travail à été dans le sens à faire comprendre aux personnes concernées les risques encourus et leurs effets et d'autre part, à analyser les moyens, méthodes et attitudes à acquérir pour éviter les risques d'origine électrique et les meilleurs moyens de prévention. des risques électriques d'un tramway

Ce mémoire comprend (3) chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à présentés l'état de l'art des tramways et leurs lignes qui sont Alimentées par des réseaux a courant continu sous une tension qui est généralement de 750 V.
- Le deuxième chapitre représente les décrets et les arrêtés.
- La troisième partie du travail a consisté à étudier les risques électriques en général .
- Dans le quatrième chapitre est consacré pour la prévention des risques électriques.

Ce travail, qui fait partie d'une thématique de recherche, a pour but de rendre compte de l'analyse théorique des risques et la prévention dans le domaine électrique associe à la maintenance des tramwfi



Chapitre 1 :

VISION SUR LES RESEAU ELECTRIQUE DE TRAM

I.1 Etat de l'Art des réseaux d'alimentation électrique des tramways

I.1.1. Une vocation ferroviaire Algérienne

CITAL La Compagnie industrielle des transports algériens (CITAL) est née en 2011 de la volonté de l'Algérie de se doter de capacités industrielles moderne d'assemblage et de maintenance dans le domaine ferroviaire, elle est en charge de satisfaire les besoins en tramways des projets en cours et futurs en Algérie. 6 systèmes de tramway sont maintenus par CITAL : Alger depuis décembre 2010 ; Oran depuis avril 2013 et Constantine depuis juin 2013, Sidi-Bel-Abbès depuis juillet 2017, Ouargla depuis mars 2018 et Sétif depuis mai 2018. Prochainement la maintenance des tramways de Mostaganem et celle des trains grande ligne CORADIA ALGERIE seront également assurée par CITAL.

I.1.1.1. A propos du CITAL

- Société par actions de droit algérien
 - 41% : Ferro Vial
 - 10% : EMA
 - 43% : Alstom Transport S. A
 - 6% : Alstom Algérie
- Siège Social Annaba
- Activité :
 - Assemblage des rames pour les Systèmes de Tramways algériens
 - Maintenance des rames et des Systèmes de tramway
- Taux Intégration objectif : 30%
- Investissement usine d'assemblage : 2,1 Milliards de DZD

- 145 rames de tramway produites
- Développement d'un tissu économique et industriel ferroviaire à Annaba autour de l'usine, et dans toute l'Algérie autour des centres de maintenance CITAL
- Le recrutement de plus de 500 cadres et employés localement, qui sont formés en Europe et en Algérie, pour devenir hautement qualifiés et maîtriser les technologies de pointe
- 3 Grands Partenaires EMA, FERROVIAL et ALSTOM
- La Qualité au meilleur niveau mondial attestée par les certifications ISO 9001
- L'engagement de la préservation de notre environnement attesté par les certifications ISO 14001
- La sécurité et la santé des employés.

CITAL est certifiée ISO 9001 versions 2015.

L'objectif de CITAL est d'assurer l'excellence en matière d'assemblage et de maintenance des matériels roulants ferroviaires par la qualité de ses produits et services.

CITAL mène une politique de maîtrise de la qualité en amont et en aval de la chaîne de production et dans les activités de la maintenance, dans le respect optimal d'un cahier des charges strict et des contrôles clés aux différents points.

C'est grâce à l'ensemble de ces efforts que l'organisation de CITAL est conçue selon une approche processus conformément aux normes internationales (CITAL est certifiée ISO 9001)

I.1.1.3. Historique

- 14 Novembre 2010 : Signature de l'accord Cadre et du Pacte d'Actionnaires
- 2011 : Démarrage de l'activité Maintenance (Tram Alger)
- 15 Mars 2011 : Création de CITAL unité d'assemblage et de maintenance de rames de tramways de type Citadins 302 et Citadins 402
- 13 décembre 2012 : Signature des Contrats Programmes de fourniture de matériels roulants (EMA)
- 12 Mai 2015 : Inauguration de l'usine d'Annaba.
- 10 Avril 2016 : Signature de l'accord-cadre entre Alstom, Ferro Vial, EMA et SNTF pour l'extension des activités de CITAL à la famille des trains hybrides Corabia

I.1.1.4. Production

CITAL assemble les rames de tramways CITADIS à la ville d'Annaba sur une superficie de 5,2 ha. L'usine dispose d'une capacité de livraison de 5 Rames de Tramways / mois avec une charge de production stabilisée, cohérente avec celle d'autres unités d'ALSTOM.

L'usine de production est dotée de tous les équipements d'assemblage, de tests et d'essais permettant de réaliser les tests dynamiques de type et de série.

Le centre d'essais est doté entre autres d'une voie de 1000 mètres équipée d'un système d'alimentation ultramoderne.

Description générale du site :

- Surface globale : 52 000m²
- Surface bâtit : 11 871m²
- Capacité de production : 05 rames / mois.

L'usine :

1. Bâtiment d'Essai
2. Bâtiment Principal
3. Bâtiment Administratif
4. Poste de Garde
5. Poste de Livraison et Sous station Electrique
6. Atelier de maintenance
7. Remisage des rames
8. Voie d'essai.

I.1.1.5. Maintenance

L'une des activités principales de CITAL est la maintenance, aussi chaque ville équipée d'un système tramway sera dotée d'un centre de maintenance dans lequel seront effectuées toutes les prestations de maintenance.

Ces prestations sont nécessaires à la fois pour assurer la disponibilité des rames mais également la bonne image des tramways.

- **06 Systèmes maintenus par CITAL :**
 - Alger depuis décembre 2010 : 41 rames + le Système de Tramway et l'Infrastructure.
 - Oran depuis avril 2013 : 30 rames + le Système de Tramway et l'Infrastructure.
 - Constantine depuis juin 2013 : 27 rames + le Système de Tramway et l'Infrastructure.
 - Sidi-Bel-Abbès depuis juillet 2017 : 30 rames + le Système de Tramway et l'Infrastructure
 - Ouargla depuis mars 2018 : 23 rames + le Système de Tramway et l'Infrastructure
 - Sétif depuis mai 2018 : 26 rames + le Système de Tramway et l'Infrastructure

Il est rappelé que toutes ces activités seront réalisées par des équipes locales et donc CITAL contribue de manière directe au développement des régions en Algérie.

Maintenance Région Ouest

La région ouest regroupe les centres de maintenance d'Oran et Sidi-Bel-Abbès. Prochainement celui de Mostaganem.

Les installations consistent pour chaque site à :

1. Un atelier de maintenance matériels roulant
2. Des ateliers spécifiques (freinage, climatisation, compresseur, électromécanique, infra, équipements de dépôts... etc.).
3. Une station-service
4. Une machine à laver pour Tramway

Effectif Oran : 46

Effectif Sidi-Bel-Abbès : 40

Activités :

Maintenance Matériels Roulants :

- Maintenance des Tramways
- Maintenance des équipements dépôt (tour en fosse, colonnes de levage, compresseurs...)
- Maintenance industrielle et bâtiment (détection incendie, climatisation et basse tension...)

Maintenance Système et Infrastructure :

- Atelier courant fort (PHT, sous-stations...)
- Atelier courant faible (signalisation, système d'aide à l'exploitation...)
- Atelier LAC (Ligne Aérienne de Contact, éclairage...)

I.2.Ensemble production de l'énergie de traction moderne du Tramway :

Le système de traction électrique du tramway se compose des trois sous-systèmes suivants :

- Sous stations.
- Sous-systèmes caténares.
- Sous système SCADA

I.2.1. Les Sous-stations :

Les sous-stations électriques permettent l'alimentation en énergie électrique d'une section deligne ferroviaire. Elle est raccordée au réseau haute tension (220kV, ou 60 kV), et a pour rôle transformer et convertir la tension triphasée primaire CA en une tension de traction CC. Chaque sous-station comprend un groupe redresseur de traction (figure I-1).

Ce groupe redresseur de traction est composé d'un transformateur de traction, qui va abaisser le niveau de tension, et d'un redresseur à pont de diode qui va redresser la tension alternative en tension continue.

Cette sous-fonction est assurée par l'ensemble de ces équipements :

- Disjoncteur - DHTA-R
- Transformateur de traction – TRT : de 30 KV AC à 750 V AC
- Redresseur – RED : de 750 V AC à 750 V CC
- sectionneur d'isolement automatique – SIA [3]

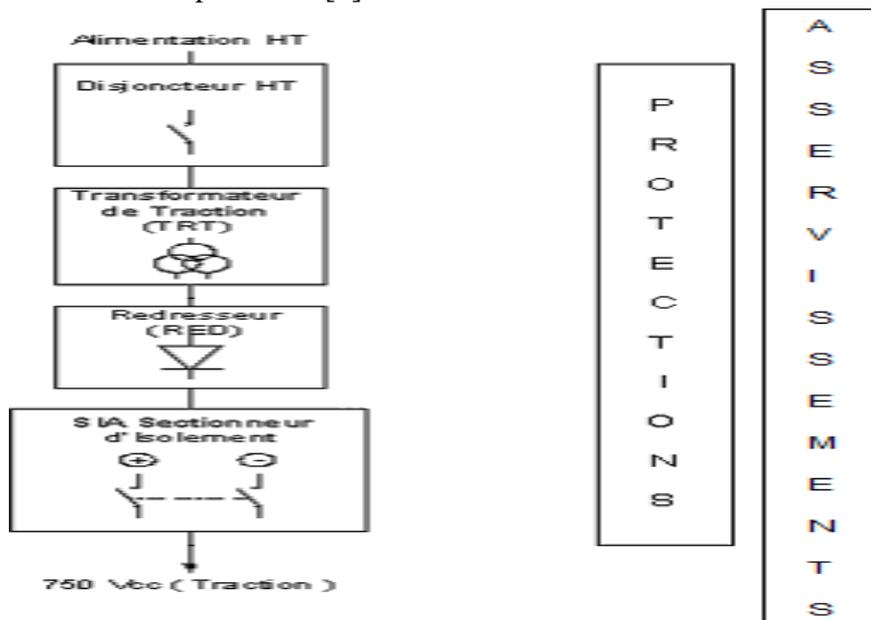


Figure I-1: Schéma de principe d'un groupe redresseur traction [13].

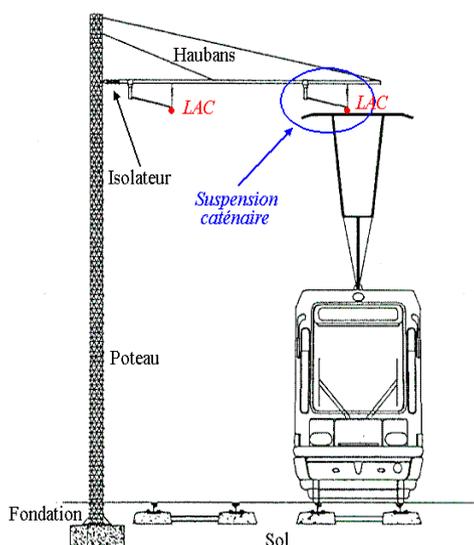
I.2.2. Sous-système caténaire :

Le système caténaire est un ensemble de câbles permet de répartir le courant fourni par les sous stations et de l'acheminer jusqu'à la motrice

Il y a deux catégories de sous-système caténaire sont :

I.2.2.1. La ligne aérienne de contact :

Les *LAC* sont le moyen le plus traditionnel pour transporter les courants –dans notre cas continus– entre les sous-stations et les rames d'un réseau de tramway. La ligne aérienne est divisée en sections, ce qui permet d'isoler une portion du réseau en cas de défaut, et d'assurer des services provisoires d'exploitation. Les *LAC* sont suspendues à des poteaux tous les 30 m ou 60 m (en fonction de la technique de pose [PERRIN-91]) ou accrochées aux façades des immeubles. Leur hauteur légale est de 6m (de manière à permettre le transit de convois routiers exceptionnels). Le matériau utilisé dans la fabrication des *LAC* est du cuivre électrolytique tréfilé, et les sections des conducteurs varient généralement de 107 mm² à 150 mm²



La Figure 1-2 représente un type de support pour la ligne aérienne de contact. La suspension caténaire vise à maintenir le fil de contact aussi parallèle à la voie que possible dans des conditions de fonctionnement dynamique. La pression entre la ligne de contact et le pantographe doit également être suffisante et constante, pour éviter les arcs électriques entre ces conducteurs.

Figure 1-2 : Support latéral d'une ligne aérienne de contact

Dans les années à venir, l'électrification aérienne des réseaux de transports urbains pourrait tendre à ralentir. Comme précédemment évoqué, pour des raisons esthétiques, techniques et pratiques, certains centre-ville souhaitent s'affranchir des lignes aériennes de contact. Les avancées techniques Actuelles proposent entre autre une bimodalité d'énergie. La *LAC* pourrait par exemple être associée à un système d'Alimentation Par le Sol (*APS*) ou à des moyens de stockage énergétiques embarqués.

La Ligne Aérienne de Contact (*LAC*) est le sous-système permettant l'acheminement de l'énergie électrique depuis les postes redresseurs situés dans les sous-stations de traction (*SST*) jusqu'aux rames du matériel roulant (figure I-2).

Une LAC est constituée de :

- Fils de Contact,
- Câbles d'alimentation et connexions électriques,
- Supports et ancrages LAC,
- Equipements/Armements(Isolateurs, Consoles, Transversaux, Suspensions, Rappels, Parafoudres, Feux de Présence Tension...),
- Protections (Parafoudres...) .



Figure I-3 : La ligne aérienne de contact [5].

I.2.2.2. Alimentations Par le Sol (APS)

Initialement introduite à la fin du 19ème siècle, l'alimentation électrique des tramways par lesol avait été abandonnée pour des raisons de sécurité. Des câbles de puissance étaient placés au fond d'un caniveau, et un capteur situé sous chaque tramway y descendait afin d'établir le contact électrique

Systeme APS d'INNORAIL

Le principe de base du procédé d'*APS* d'INNORAIL est le même que celui développé par ALSTOM. Ces systèmes sont composés d'un ensemble de secteurs conducteurs, isolés électriquement les uns des autres. Ces secteurs se situent entre les rails de roulement, au milieu de la voie. Chez INNORAIL, les secteurs sont commutés au fur et à mesure de l'avancement du tramway par des contacteurs. La

présence du véhicule est signalée grâce à une boucle d'induction.

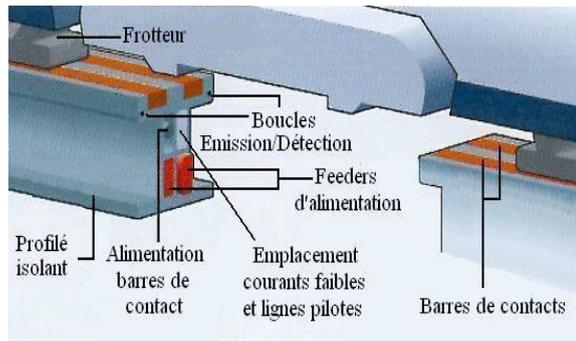


Figure 1-4 : Système APS d'INNORAIL

Pour chaque tramway, deux frotteurs sont placés d'une part et d'autre du véhicule.

Le tramway de la communauté bordelaise, mis en service fin 2003, intègre sur un tronçon du centre-ville, le système

d'alimentation par le sol développé initialement par INNORAIL

Système ALISS (ALimentation Statique par le Sol), ALSTOM :

A la différence d'INNORAIL, la localisation des tramways est réalisée grâce à l'émission-réception d'un signal porteur, hautement sécurisé, issu de chaque véhicule. Ce signal transite via le frotteur du véhicule et est analysé par le module de commutation à l'aplomb du secteur en contact avec le frotteur. La mise sous tension est assurée grâce à la commutation d'interrupteurs de puissance *IGBTs*.

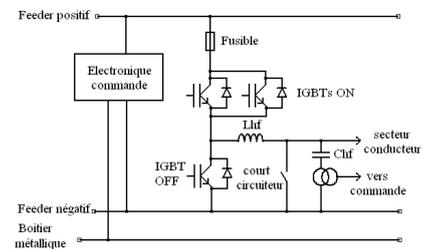
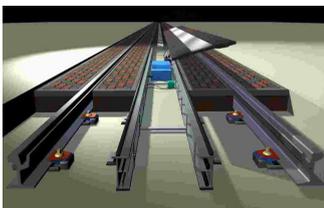


Figure 1-5 : Coupe transversale d'ALISS

Figure 1-6 : Module ALISS

Figure 1-7 : Schéma de puissance d'un module ALISS

L'ensemble de l'électronique de puissance et de commande se situe dans le boîtier central de la Figure 1-5. La maquette d'un module *ALISS* et le schéma électrique correspondant sont présentés

Respectivement Figure 1-6 et Figure 1-7. Sans la présence de tramway, le potentiel du secteur

conducteur est ramené à celui du feeder négatif, grâce à la commutation de l'*IGBT OFF*. A l'issue du décodage du signal de présence d'un tramway, les *IGBTs* commutent, et le secteur conducteur passe à

750 V. Pour une meilleure transition dynamique lors de l'avancement des tramways, trois secteurs

seront mis sous tension après détection et analyse du signal. Si le frotteur d'un tramway est situé sur le secteur 'n' de la ligne et que l'émission du signal porteur est active, les secteurs 'n-1', 'n' et 'n+1'

seront commutés (en régime sans défaut), cf. Figure 1-13. L'aspect dynamique du fonctionnement sera

Développé dans le paragraphe 4.1.1.

I.2.3. Sous-système SCADA :

Le système SCADA (système de contrôle et d'acquisition de données) est un système de télégestion à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémesures et de contrôler à distance les installations de circuit électrique ferroviaire (figure I-8) .



Figure I-8 : Système de contrôle et d'acquisition de données [4].

I.3. Le matériel roulant :

Le matériel roulant ferroviaire est composé de l'ensemble des véhicules, moteurs ou remorqués, conçus pour se déplacer sur une voie ferrée. La construction du matériel roulant ferroviaire est l'objet d'une industrie spécialisée, les constructeurs ferroviaires. Alstom est l'une de ces constructeurs.

I.3.1. Les composants de la rame :

La rame du tramway est de type bidirectionnel, elle comporte les composants suivants (figure I-9):

- Cabine de conduite
- Cabine motrice
- Nacelle motorisée
- Nacelle porteuse
- Caisse suspendue

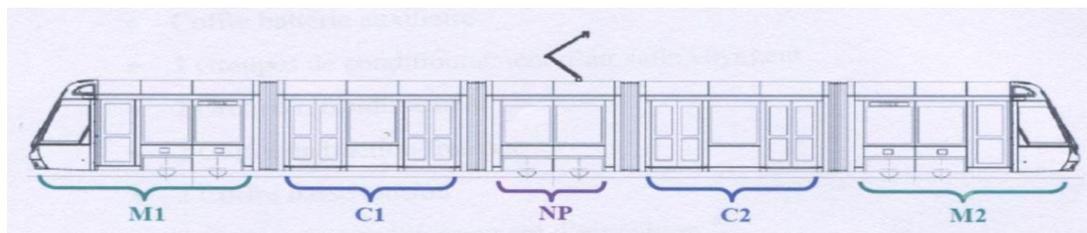


Figure I-9: exemple des cabines du tramway CITADIS 302 ALSTOM.

I.3.2. Les pièces utilisables :

Bogies : Au cœur de la dynamique du train, le bogie est la pièce maîtresse en matière de contact roue-rail et de traction/freinage. Grâce à la gamme de bogies Alstom, les trains, quel que soit leur type, offrent un maximum de confort aux passagers et roulent en toute sécurité, à des vitesses correspondant à des applications urbaines ou grandes lignes

- **Moteurs :** Les moteurs convertissent l'électricité fournie par le système de traction en énergie mécanique pour faire avancer le train .
- **Appareillage :** Alstom propose une large gamme de composants d'appareillages de haute qualité et les services associés : contacteurs, sectionneurs, disjoncteurs rapides courant continu, disjoncteurs monophasés 22CBNG avec ampoule à vide, contacteurs triphasés à ampoule à vide, commutateurs, équipements de toiture multifonctions et systèmes de mesure d'énergie .
- **Convertisseurs auxiliaires :** Alstom produit des convertisseurs auxiliaires à la pointe de la technologie pour les métros, les trains régionaux, les trains à grande vitesse et les locomotives, fabriqués ou non par Alstom .
- **Transformateurs de traction :** Avec 50 ans d'expérience à son actif et plus de 5 000 inductances de ligne et transformateurs embarqués refroidis à l'huile, Alstom fait figure de référence en matière de conception de transformateurs sur mesure destinés aux trains régionaux, aux trains à grande vitesse et aux locomotives .
- **Systèmes d'alimentation Cariboni :** Alstom est l'un des leaders européens de la conception, du développement et de la fabrication de composants pour les systèmes d'électrification des transports ferroviaires et routiers .
- **Amortisseurs Dispen :** Les amortisseurs jouent un rôle clé dans la maîtrise du comportement dynamique du train et participent à la sécurité et au confort des passagers .

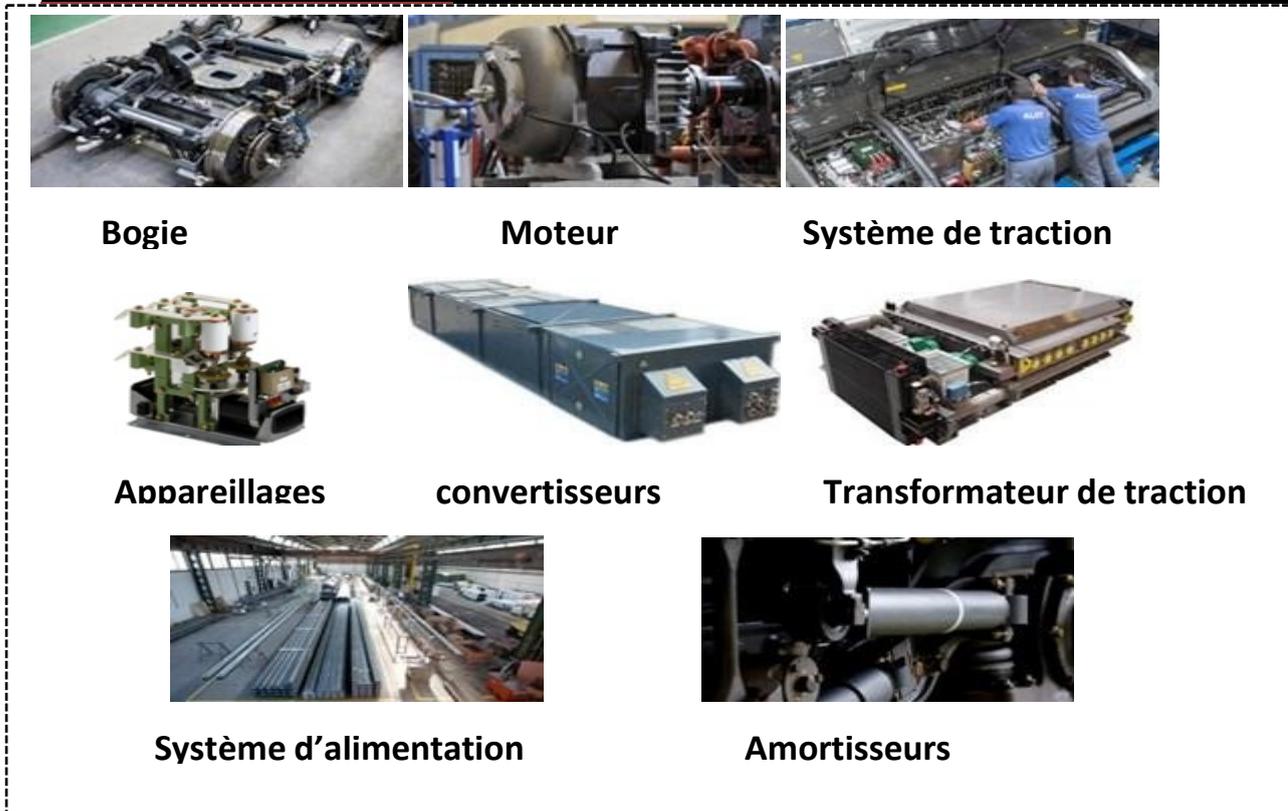


Figure I-10: Les pièces utilisables

I.4. Les Avantages et Les Inconvénients de tramways:

I.4.1. Les Avantages :

- L'attractivité du tramway pour les usagers passe par les meilleures performances: rapidité, ponctualité, régularité, accessibilité, confort, ...
- Il doit faciliter notre quotidien et améliorer notre cadre de vie.
- D'un point de vue économique, il a dynamisé les villes dans lesquelles il a été implanté.
- Alimenté par l'énergie électrique, il est écologique et silencieux puisque, contrairement aux voitures qui émettent du monoxyde et du dioxyde de carbone en consommant de l'essence, le tramway ne rejette ni gaz, ni fumée, et ne pollue pas.
- Durée de vie supérieure à celle de bus (30ans contre environ 15 ans).
- Capacité supérieure à celle des bus.
- C'est le mode de déplacement urbain motorisé qui consomme le moins d'énergie par kilomètre et par personne.

Enfin le tramway est un outil séduisant et moderne qui peut embellir l'espace public et la vie quotidienne des usagers. Il transporte ses passagers dans des conditions modernes de confort (espace luminosité - éclairage ambiance - design intérieur - isolation - phonique - climatisation - vision

panoramique - accès facile pour les handicapés).

I.4.2. Les Inconvénients

- Coût d'investissement élevé par rapport à l'autobus, qui peut également être conçu onsite propre.
- Il n'est pas à la portée des petites agglomérations.
- Rails creux dangereux pour les cyclistes lorsqu'ils partagent la même chaussée que le tramway. Cet inconvénient peut être pratiquement éliminé par l'insertion d'une bandeélastique dans la gorge.
- Occupation de l'espace urbain du niveau zéro, ce qui nécessite une nouvelle gestion des flux ; en outre c'est un bon prétexte pour mener une politique anti-voiture.
- Réduction des échanges conducteurs –voyageurs.
- Le tracé et les points d'arrêts sont figés et rendent son évolution difficile en fonction de la fréquentation dans l'espace et dans le temps.
- L'entretien et la maintenance sont lourds du fait d'une infrastructure importante.
- L'emprise foncière des voies est importante et sans valeur ajoutée pour les citoyens.
- La construction de l'infrastructure nécessite des travaux qui gênent les riverains et la circulation.
- L'impact visuel de l'infrastructure aérienne (notamment caténaire) est conséquent, particulièrement dans les villes où tous les autres fils aériens ont été supprimés.
- L'alimentation par le sol est très coûteuse.

I.5. Stockage énergétique et production embarquée

I.5.1. Domaines d'applications

Les avancées technologiques des systèmes de stockage d'énergie permettent de considérer leurs utilisations dans des applications ferroviaires. Les domaines d'application concernés résident dans :

- les installations fixes
- les systèmes embarqués mixtes (dotés de plusieurs sources énergétiques dont l'utilisation n'est pas simultanée)
- les systèmes embarqués hybrides (dotés de plusieurs sources énergétiques dont l'utilisation est simultanée)
- les systèmes embarqués autonomes.

Les implantations fixes de volants d'inertie ou de super-capacités peuvent dorénavant constituer des Alternatives aux méthodes traditionnelles de renforcement des systèmes d'alimentation en énergie ou en puissance. Ces systèmes de stockage peuvent être localisés dans les sous-stations ou implantés le long des lignes, en fonction des besoins de l'exploitant. Les effets de la connexion d'un élément de

stockage sur le réseau agissent à plusieurs niveaux. Ainsi, l'insertion d'un élément de stockage :

- Rehausse localement la tension de la ligne, améliorant de fait les transferts énergétiques. Les Connexions d'un feeder de renforcement de tension sur la ligne peuvent ainsi être évitées. De la même manière, une augmentation de la distance entre les sous-stations peut être envisagée
- Réduit les pointes de charge d'un réseau électrique. Les sous-stations de traction assurent ainsi la fourniture de la base de la puissance appelée sur le réseau, et les éléments de stockage pallient les pointes de charges transitoires
- Améliore la disponibilité de récupération globale de l'énergie de freinage du matériel roulant.

I.5.2. Techniques modernes pour le stockage énergétique

Dans le domaine de la traction électrique, divers moyens de stockage énergétique sont utilisés. Chacun d'entre eux a son domaine de prédilection, privilégiant soit des applications où la puissance à délivrer est importante pendant un temps court, soit des applications où la puissance à délivrer est faible sur des durées plus conséquentes.

I.5.2.1. Installation du parafoudre

Dans une tranchée couverte ou un tunnel (ouvrage long)

Pour réduire la hauteur de l'ouvrage, on peut remplacer le fil suspendu par un fil inséré dans un rail rigide fixé au plafond par l'intermédiaire d'une pièce isolante.

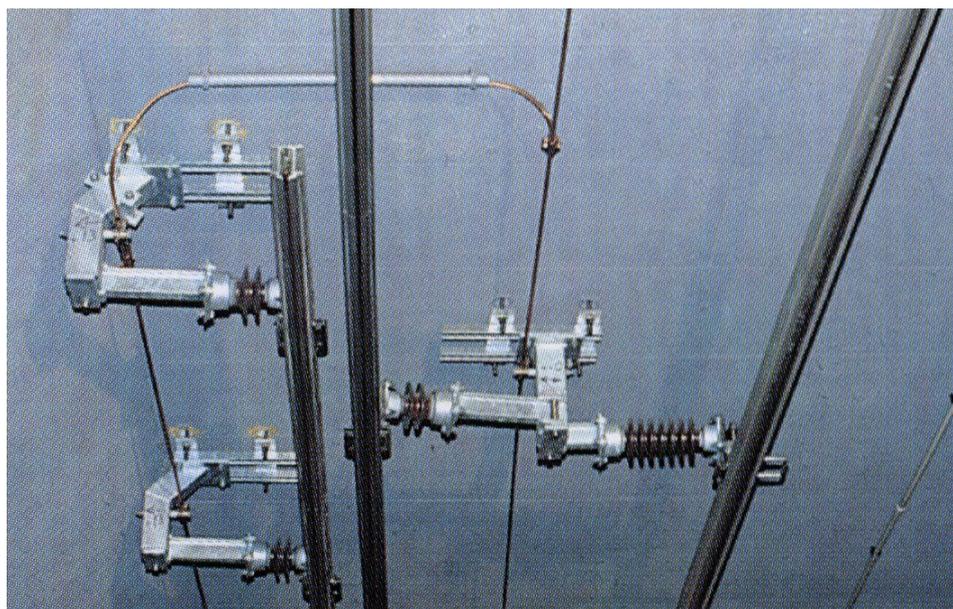


Figure I.13

Ce type de fixation peut être utilisé dans les centres de maintenance ou sur des ouvrages existants de hauteur réduite.

I.5.3. Alimentation embarquée via la pile à combustible

Une pile à combustible (*PAC*) convertit une énergie chimique en énergies électrique et thermique.

L'anode est le siège de l'oxydoréduction de l'hydrogène, alors que la cathode celui de la réduction de l'oxygène de l'air [CANDUSSO-02].

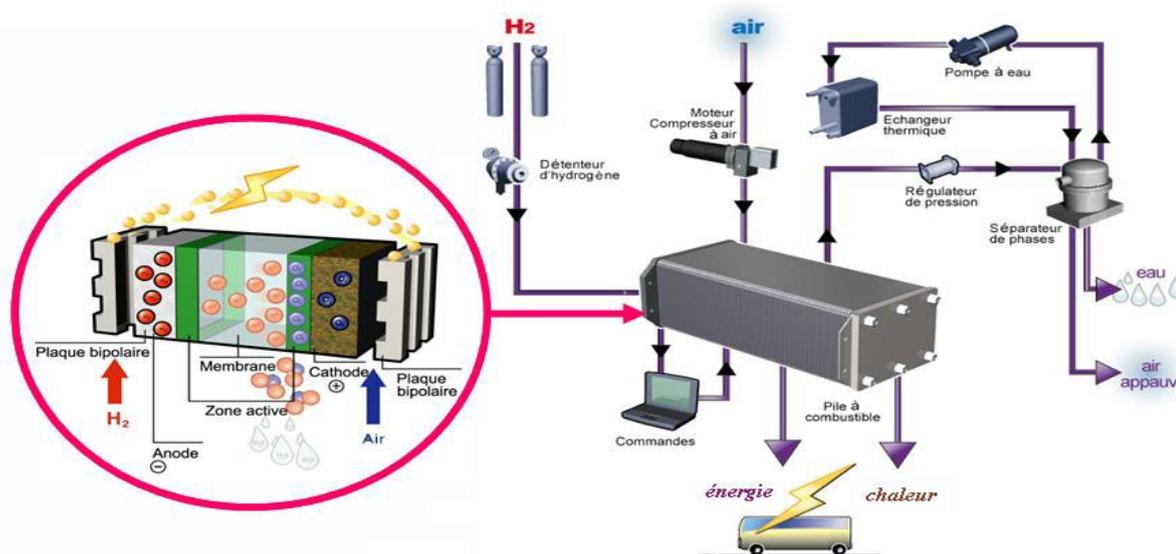


Figure I.14 : Composants d'un système Pile à Combustible

Les avancées technologiques actuelles permettent d'envisager l'utilisation de la *PAC* comme moyen d'alimentation électrique embarquée. Dans le cas de l'utilisation exclusive de ce procédé dans un tramway, il serait envisageable de faire abstraction des *LAC*. La bimodalité *LAC / PAC* pourrait être prise en compte, mais l'application *PAC* tend à devenir un moyen autonome ou hybride. Dans le cadre du transport urbain, de nombreux travaux de modélisation et d'expérimentation sont en cours (Irisbus, Evobus, Man) afin d'améliorer la viabilité technique et économique de cette perspective énergétique.

Conclusion

L'objectif de CITAL est d'assurer l'excellence en matière d'assemblage et de maintenance des matériels roulants ferroviaires par la qualité de ses produits et services.

CITAL mène une politique de maîtrise de la qualité en amont et en aval de la chaîne de production et dans les activités de la maintenance, dans le respect optimal d'un cahier des charges strict et des contrôles clés aux différents points.

C'est grâce à l'ensemble de ces efforts que l'organisation de CITAL est conçue selon une approche processus conformément aux normes internationales (CITAL est certifiée ISO 9001)

CHAPITRE 2 :

LA REGLEMENTATION et L'HABILITATION ELECTRIQUE

II.1. Les décrets :

le décret

- il découle d'une loi
- il est signé par le ministre du gouvernement concerné.

Le décret 88-1056 du 14 novembre 1988 est abrogé et remplacé par 4 nouveaux décrets depuis le 1^o juillet 2011 :

Décret 2010-1017 : obligations des maîtres d'ouvrage,

Décret 2010-1016 : obligations des employeurs,

Décret 2010-1018 : prévention des risques électriques,

Décret 2010-1118 : opérations effectuées sur les installations électriques ou dans leur voisinage

Décret exécutif n° 01-342 du 28 Octobre 2001 : relatif aux prescriptions particulières de protection et de sécurité des travailleurs contre les risques électriques au sein des organismes employeurs

II.2. Les Normes françaises

II.2.1. La norme française : norme est un texte de référence élaboré par un groupe de travail normalement constitué des parties intéressées (par exemple, fabricants, distributeurs, mais aussi consommateurs

NFC 61-314 : Prises de courant pour usages domestiques et analogues – Systèmes 6 A / 250 V et 16 A/250 V ;

NFC 17-200 : Installations électriques extérieures

NFC 15-100 : Installations électriques à basse tension ;

NFC 18-510 : Risques électriques (Habitations) ;

NFC 13-100 : Postes de livraison ;

NFC 13-200 : Installations électriques à haute tension ;

NFC 14-100 : Installations de branchement (basse tension).

Les principales normes de conception sont :

NFC 20-010 (Annulée et remplacée par NF EN 60529/A2 Mai 2014) : Classification des degrés de protection procurés par les enveloppes

NFC 20-030 (Annulée et remplacée par NF EN 61140 Août 2016) : règles de sécurité relatives à la protection contre les chocs électriques

NFC 71-008 (Annulée et remplacée par NF EN 60598-2-8 Novembre 2013) : baladeuses

NFC 15-100 : Installations électriques à basse tension

NFC 13 100 : Postes de livraison

NFC 14 100 : Installations de branchement (basse tension

NFC 15-100 : Classification des degrés de protection

NF 20 030 : Protection contre les chocs électriques

NF C 71 008 : Baladeuses

II.2.2 Les normes internationales

CEI 60038: Tensions normales de la CEI

CEI 60051: Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires

CEI 60071-1: Coordination de l'isolement Définitions, principes et règles

CEI 60076-2: Transformateurs de puissance Echauffement

CEI 60076-3: Transformateurs de puissance Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air

CEI 60076-5: Transformateurs de puissance Tenue au court-circuit

CEI 60076-10: Transformateurs de puissance Détermination des niveaux de bruit

CEI 60146: Convertisseurs à semi conducteurs Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau

CEI 60255: Relais électriques

CEI 60265-1: Interrupteurs à haute tension Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 52 kV

II.3.Les arrêtés

l'arrêté :

- il est signé par le ministre du gouvernement
- il précise les moyens.

Arrêté du 14 décembre 2011 relatif aux installations d'éclairage de sécurité, pris en application de l'article R. 4227-14 du code du travail et permettant de satis-faire aux articles R. 4215-17 et R. 4226-13 du code du travail OU du 30 décembre 2017.)

■**Arrêté du 15 décembre 2011** relatif aux dispositions particulières applicables aux installations de galvanoplastie et d'électrophorèse, aux cellules d'électrolyse et aux fours électriques à arc, pris en application de l'article R. 4226-10 du code travail (0,0. Du 29 décembre 2017).

■**Arrêté du 16 décembre 2011** relatif aux dispositions particulières applicables à certains laboratoires et plates-formes d'essais, pris en application de l'article R. 4226-10 du code du travail 0.0. du 29 décembre 2011).

■**Arrêté du 19 décembre mn** relatif aux circuits électriques mis en œuvre dans le soudage électrique l'arc et par résistance et dans les techniques connexes, pris en application de l'article R. 4226-11 du code du travail (J.0. du 28 décembre 2011).

■**Arrêté du 20 décembre 2011** relatif aux appareils électriques amovibles et à leurs conditions de raccordement et d'utilisation, pris en application de l'article R. 4226-12 du code du travail (J.0. du 27 janvier 2012).

■**Arrêté du 21 décembre 2011** relatif aux modalités d'accréditation des organismes chargés des vérifications initiales des installations électriques et Sur demande de l'inspection du travail, pris en application de l'article R. 4226-15 du code du travail, modifié par arrêté du 30 avril 2012 (0.0. du 29 décembre 2011 et 10 mai 2012).

■**Arrêté du 22 décembre 2017** relatif aux critères de compétence des personnes chargées d'effectuer les vérifications périodiques des installations électriques et de mettre en œuvre les processus de vérification des installations électriques temporaires. Pris en application des articles R. 4226-17 et R. 4226-21 du code du travail, modifié par arrêté du 30 avril 2012 (0.0. du 27 janvier 2012 et du 10 moi 2012).

• **Arrêté du 23 décembre 2011** relatif aux installations électriques des équipements de travail non soumis des règles de conception lors de leur première mise en service (1.0. du 29 décembre).

■ **Arrêté du 26 décembre 2011** relatif aux vérifications ou processus de vérification des installations électriques ainsi qu'au contenu des rapports correspondants, pris en application de l'article R. 4226-18 du code du travail, modifié par arrêté du 30 avril 2012 (1.0. du 29 décembre 2011 et du 10 mai 2012).

. **Arrêté du 19 avril 2012 relatif** aux normes d'installation intéressant les installations électriques des bâtiments destinés à recevoir des travailleurs 0.0. du 2 mai 2012).

• **Arrêté du 20 avril 2012** relatif au dossier technique des installations électriques des bâtiments destinés recevoir des travailleurs (J.0. du 2 mai 2012).

• **Arrêté du 26 avril 2012** relatif aux normes définissant les opérations sur les installations électriques ou dans leur voisinage ainsi que les modalités recommandées pour leur exécution, pris en application de J'article R. 4544-3 du code du travail 0.0. du S moi 2012Y

■ **Arrêté du 30 avril 2012** relatif au contenu de l'imprimé utilisable pour la vérification de certaines installations électriques temporaires. Aux modifications de l'arrêté relatif aux modalités d'accréditation des organismes chargés des vérifications initiales des installations

II.4.Généralités

II.4.1.L'habilitation électrique

L'habilitation est la reconnaissance, par l'employeur, de la capacité d'une personne placée sous son autorité à accomplir, en sécurité vis-à-vis du risque électrique, les tâches qui lui sont confiées. Avant d'être habilité, le travailleur doit avoir été formé et avoir été déclaré apte par le médecin du travail.

L'habilitation des travailleurs s'appuie sur les dispositions du Code du travail et sur les règles techniques de la norme française NFC 18-510 de janvier 2012 « Opérations sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique. – Prévention du risque électrique ».

À chaque type d'habilitation correspond un symbole comprenant des lettres, des chiffres et si nécessaire un attribut (par exemple B2V pour un chargé de travaux du domaine basse tension et pouvant travailler dans le voisinage de pièces nues sous tension).

L'habilitation électrique complète l'ensemble des règles du code du travail régissant la conception et l'utilisation des installations électriques applicable à l'employeur.

L'habilitation n'autorise pas, à elle seule, un titulaire à effectuer de son propre chef des opérations pour lesquelles il est habilité. Il doit être désigné par son employeur pour l'exécution de ces opérations.

L'affectation à un poste de travail peut constituer une désignation implicite.

II.4.2.La démarche d'habilitation

La démarche d'habilitation comprend plusieurs étapes

1. **L'analyse de l'activité** qui sera confiée au travailleur (type d'opération, fonction du travailleur, caractéristiques des installations et des appareillages...);
2. **La prise en compte des compétences et des aptitudes du travailleur devant être habilité** : évaluation de ses compétences techniques (diplômes, titres certificats professionnels, expérience) et de ses aptitudes (expérience, savoir-être, aptitude médicale...);
3. **La vérification de l'adéquation entre l'activité, les compétences et les aptitudes du travailleur** ;
4. **La formation préparatoire à l'habilitation** : l'objectif de la formation préparatoire à l'habilitation est de faire acquérir une compétence professionnelle dans le domaine de la sécurité électrique pour l'exécution des opérations et les mesures d'urgence à prendre en cas d'accident ou d'incendie d'origine électrique. La formation doit comprendre une partie théorique et une partie pratique.

II.4.3. La durée de validité d'une formation et d'un titre d'habilitation

La durée de validité d'un titre d'habilitation est définie par l'employeur. Cependant en pratique elle est souvent la même que la périodicité de recyclage de formation. L'INRS recommande une périodicité de recyclage de la formation de 3 ans (c'est également la durée recommandée dans la norme NF C18-510). Pour une pratique exceptionnelle ou occasionnelle, la périodicité peut être ramenée à 2 ans. De plus, l'INRS recommande de réaliser un suivi annuel de l'adéquation du titre d'habilitation au regard de l'activité réelle du salarié.

A noter que pour les travaux sous tension, la durée de validité du titre d'habilitation est de 1 an.

II.4.4. Les sanctions en cas d'absence d'habilitation électrique

Responsable de la santé et de la sécurité de ses salariés, l'employeur doit veiller au respect de la réglementation applicable en la matière. Il doit notamment s'assurer que conformément aux dispositions du Code du travail, les opérations sur les installations électriques ou dans leur voisinage ne sont bien effectuées que par des travailleurs habilités.

En cas d'accident du travail et/ou de manquement à ces obligations, la responsabilité civile (pour faute inexcusable notamment) ou pénale de l'employeur peut être engagée. Ce dernier s'expose notamment à une amende ainsi qu'au versement de dommages et intérêts au salarié si celui-ci a subi un préjudice.

La qualification des responsabilités et les sanctions seront définies au cas par cas, par les juges compétents en cas de contentieux.

II.4.5. L'habilitation des travailleurs indépendants

Les travailleurs indépendants, les auto entrepreneurs et les employeurs ne peuvent pas s'auto-habiler. Lorsque l'activité a lieu sur un chantier de bâtiment et de génie civil, les travailleurs indépendant ou les employeurs doivent avoir un niveau de connaissance des risques liés à l'électricité et des mesures de prévention équivalent à celui des salariés auxquels sont confiées ces opérations (article R.4535-12 du Code du travail).

Il est souhaitable que ces mesures soient respectées quel que soit le domaine d'activité et que les travailleurs indépendants et employeurs qui effectuent des opérations sur ou au voisinage des installations électriques se conforment aux prescriptions de sécurité de la norme NF C 18-510.

Il est également conseillé à une entreprise qui fait appel à cette catégorie d'intervenant de demander une attestation de formation indiquant la portée de la formation (symboles visés) ainsi que le résultat des évaluations théoriques et pratiques (mêmes savoirs et savoir-faire que pour une personne habilitée réalisant la même opération).

II.4.6.L'habilitation des travailleurs sous-traitant

Lors de l'intervention d'un sous-traitant, la prévention du risque électrique doit être organisée, notamment par la rédaction d'un plan de prévention. Les accès à l'installation doivent être donnés par le chargé d'exploitation électrique, s'il existe. Les sous-traitants doivent être, le cas échéant, habilités par leur employeur.

II.4.7.L'habilitation des travailleurs intérimaires

Dans le cas de travailleurs intérimaires, c'est l'entreprise utilisatrice (et non l'entreprise de travail temporaire) qui délivre l'habilitation, pour la durée de la mission

II.4.8.Habilitation électrique multi-site

Oui. L'habilitation dépend de l'activité et de l'environnement électrique. Dans le cas où l'opérateur est amené à travailler sur différents sites (ou différentes parties d'installations ou d'ouvrages), ces sites doivent être indiqués sur le titre d'habilitation (colonne « Ouvrages ou installations concernés »).

II.4.9.Formalisation de l'habilitation électrique

L'habilitation électrique est formalisée par un titre d'habilitation. Ce titre est délivré par l'employeur au travailleur habilité.

Le titre d'habilitation rédigé par l'employeur doit faire mention du (des) symbole(s) d'habilitation, du (des) domaine(s) de tension concerné(s), des ouvrages ou installations concernés et doit si nécessaire faire apparaître des indications supplémentaires (particularités, limitations...). Un modèle est disponible en annexe 8.3 de la brochure.

La norme NF C18-510 indique que le titulaire d'un titre d'habilitation doit être porteur de ce titre pendant les heures de travail ou le conserver à sa portée et être en mesure de le présenter sur demande motivée.

Une version imprimée format papier paraît plus pratique. On peut cependant envisager un titre dématérialisé au format numérique, à condition que le titulaire soit en mesure d'y accéder.

II.5. Les activités nécessitant un titre d'habilitation

II.5.1. Les conditions requises de l'habilitation

L'habilitation électrique au sens de l'article R.4544-9 du Code du travail est requise :

- pour les opérations sur les installations électriques,
- pour les opérations d'ordre électrique (interventions, travaux, opérations spécifiques) ou non- électrique (nettoyage, peinture, maçonnerie...) au voisinage des installations électriques,
- pour accéder sans surveillance aux locaux à risques particuliers de choc électrique.

L'habilitation électrique est également obligatoire pour les opérations sur les ouvrages de distribution d'énergie électrique tels que des lignes à haute tension par exemple (décret n°82-167 du 16 février 1982).

Ni la norme, ni la réglementation ne définissent de niveau de risque minimum pour habilitier les personnes.

Dans tous les cas, il faut prendre en compte les risques de court-circuit et les risques d'électrisation.

Le risque d'électrisation peut parfois être négligé en basse tension :

- s'il s'agit de très basse tension de protection : à condition que la tension soit inférieure ou égale à 12V ca ou 30V cc,
- s'il s'agit de très basse tension de sécurité : à condition que la tension soit inférieure ou égale à 25V ca ou 60V cc.

II.5.2. Les activités effectuées sans habilitation électrique

Lorsque l'opérateur n'est pas exposé au risque de choc électrique, il est admis que certaines opérations d'ordre électrique soient réalisées par du personnel averti non habilité :

- remplacement de lampes en basse tension (IP2X ou IPXXB),
- réarmement d'un dispositif de protection (tableaux électriques et matériels IP2X en BT, IP3X en HT),
- remplacement à l'identique de fusibles basse tension sur une installation (IP2X ou IPXXB et protéger contre les projections en cas de fermeture sur court-circuit).

Ces dispositifs ne doivent pas être détériorés et les opérations ne doivent pas être réalisées dans des locaux à risques particuliers de choc électrique

II.5.3. La nécessité de l'habilitation pour travailler en très basse tension (TBT)

Les installations en Très Basse Tension (TBT), ne sont pas exemptes de risque électrique. La norme NF C 18-510 relative à la prévention du risque électrique lors d'opérations sur les ouvrages et installations

électriques précise que la Très Basse Tension (TBT) est assimilée à la Basse Tension (BT) il faudra donc être habilité en conséquence.

II.5.4. La nécessité de l'habilitation pour pénétrer dans un local électrique

Le code du travail ne définit pas les locaux électriques mais les locaux et emplacements à risques particuliers de choc électrique (article R.4226-9).

Les locaux ou emplacements réservés à la production, la conversion ou la distribution d'électricité sont considérés comme présentant des risques particuliers de choc électrique, quelle que soit la tension, lorsque la protection contre les contacts directs est assurée par obstacle ou par éloignement. Sont également considérés comme des locaux présentant des risques particuliers de choc électrique ceux, en basse tension, dans lesquels la protection contre les contacts directs n'est pas obligatoire.

Une habilitation électrique est obligatoire pour pénétrer dans un local à risques particuliers de choc électrique. Toutefois, pour des opérations d'ordre non électrique, des personnes non habilitées peuvent être autorisées à y pénétrer, à la condition d'avoir été informées des instructions de sécurité à respecter vis-à-vis des risques électriques et d'être placées sous la surveillance constante d'une personne habilitée et désignée à cet effet. (article R4544-6 du Code du travail).

Les locaux ne présentant pas de risque électrique ne sont pas à considérer comme des « locaux et emplacements à risques particuliers de choc électrique » et ne nécessitent donc pas d'habilitation pour y pénétrer, même si pour des raisons d'exploitation l'employeur a décidé d'en réserver l'accès aux seules personnes autorisées.

II.5.5. La nécessité de l'habilitation pour réaliser des travaux hors tension

Pour réaliser des opérations d'ordre électrique, il faut être habilité, même si les travaux sont réalisés hors tension.

Pour les opérations d'ordre non électrique réalisées hors tension (et hors voisinage), l'habilitation n'est pas requise.

Toutefois, la norme recommande d'habiliter le chargé de chantier (symbole B0, H0 ou H0V Chargé de chantier), notamment pour veiller à la sécurité de son équipe (réception des documents, vérifications de la pose du balisage, etc.)

Une opération effectuée sur des installations électriques qui n'ont jamais été mises sous tension ne nécessite pas d'habilitation du travailleur (sauf en cas de voisinage avec d'autres installations sous tension). Si l'installation a déjà été mise sous tension ou dès la première mise sous tension, l'habilitation sera nécessaire.

II.5.6. La nécessité de l'habilitation pour travailler dans un local informatique ?

Les locaux informatiques (local serveur...) sans risques de choc électriques (équipements mis en œuvre possédant un marquage CE et un indice de protection IP2X ou IPXXB) ne sont pas considérés comme des "locaux à risques particuliers de choc électrique" au sens de la réglementation même si, pour des raisons d'exploitation, l'employeur a décidé d'en réserver l'accès aux seules personnes autorisées. Pour accéder à ces locaux ou y réaliser des opérations d'entretien, l'habilitation électrique n'est pas nécessaire.

En revanche, si les locaux sont classés à risques particuliers de choc électrique, une habilitation sera nécessaire pour y accéder.

Le symbole d'habilitation sera à déterminer lors de l'analyse de risque et de l'analyse de l'activité

II.6. Le choix du symbole d'habilitation

II.6.1. la signification des symboles d'habilitation électrique

L'habilitation est symbolisée de manière conventionnelle par des caractères alphanumériques et si nécessaire un attribut :

- le 1er caractère indique le domaine de tension concerné,
- le 2ème caractère indique le type d'opération ; il s'exprime soit par une lettre soit par un chiffre,
- le 3ème caractère est une lettre additionnelle qui précise la nature des opérations.

TABEAU 2.1 SYSTÈME DE CLASSIFICATION DES HABILITATIONS ÉLECTRIQUES

1er caractère	2e caractère	3e caractère	Attributs
B : basse tension H : haute tension	0 : opération d'ordre non électrique 1 : exécutant opération d'ordre électrique 2 : chargé de travaux d'ordre électrique C : consignation R : intervention BT générale S : intervention BT élémentaire E : opérations spécifiques P : photovoltaïque	T : travaux sous tension V : travaux au voisinage N : nettoyage sous tension X : spéciale	Essai Vérification Mesurage Manœuvre

Cette classification est détaillée dans la norme NF C18-510 . Pour les opérations sur les véhicules et engins automobiles à motorisation thermique, électrique ou hybride ayant une énergie électrique embarquée, le document de référence est la norme NF C 18-550. Les symboles utilisés sont complétés par la lettre L.

II.6.2.le type d'habilitation

Chaque type d'habilitation correspond à un symbole spécifique. Le symbole d'habilitation est défini à partir des critères suivants :

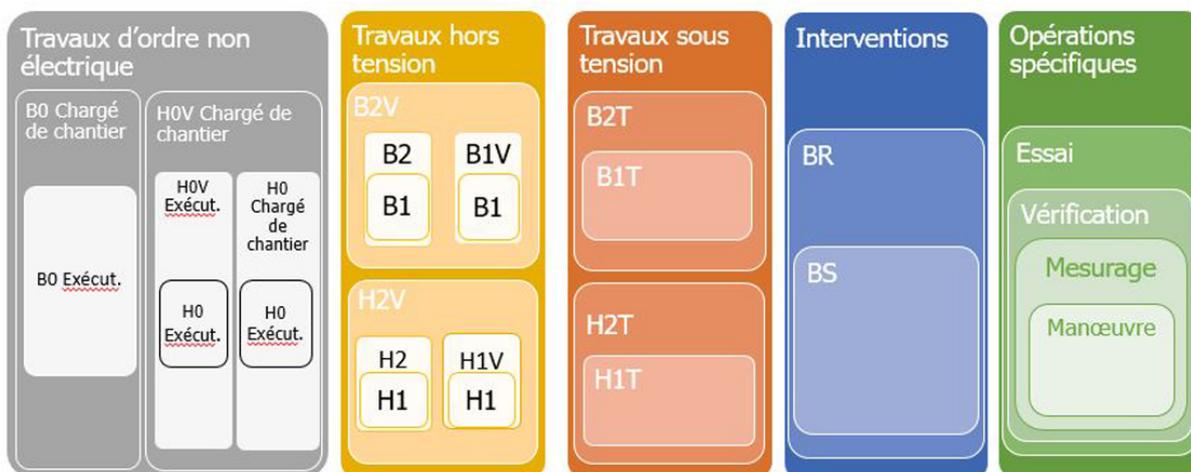
- l'activité du travailleur :
 - type d'opération (électrique/ non électrique) ;
 - rôle du travailleur (encadrant, exécutant, autonome...) ;
 - nature des opérations (travaux, interventions, consignation,...) ;
- et l'environnement électrique :
 - Type et caractéristiques des installations et appareillages (classe de tension, nature du courant, technologie utilisée indice IPXX,)
 - Les conditions de réalisation des travaux (hors tension, au voisinage, sous tension).

II.6.3.les équivalences entre les symboles d'habilitation

Les équivalences ne sont possibles que pour des opérations du même domaine de tension et du même type (voir tableau ci-dessous). Une même personne peut cumuler des habilitations de symboles différents.



Equivalences entre symboles



II.6.4.les symboles d'habilitation électrique pour le travail à proximité de réseaux enterrés

Les symboles d'habilitation dépendent des opérations à réaliser. Les opérations dans l'environnement des canalisations isolées (enterrées ou non) font l'objet du paragraphe 9.7 de la norme NF C18-510.

Attention toutefois à ne pas confondre l'habilitation électrique et l'autorisation d'intervention à proximité des réseaux (AIPR) exigée par le code de l'environnement pour prévenir l'endommagement des réseaux. Ce sont deux dispositifs distincts.

Par exemple, l'habilitation n'est pas requise pour un terrassier travaillant à proximité de canalisations électriques hors tension. Il doit cependant travailler sous la conduite d'une personne avertie et sachant gérer la procédure d'accès, de suivi et de contrôle.

Si la canalisation est sous tension, les terrassiers doivent être habilités symbole B0 Exécutant et doivent travailler sous la conduite d'un chargé de chantier, habilité B0 Chargé de chantier.

II.6.5.les personnes concernées par les symboles B0, H0 et H0V

Les habilitations B0, H0 et H0V ne concernent que les opérations d'ordre non électrique (nettoyage, peinture, maçonnerie...) dans un environnement électrique. Le B0 indique que les opérations peuvent être réalisées dans la zone de voisinage simple en basse tension. Les opérations d'ordre non électrique dans la zone de voisinage renforcé en basse tension sont interdites (il n'existe pas de symbole B0V). Le H0 indique que les opérations peuvent être réalisées dans la zone de voisinage simple en Haute tension, le H0V concerne les opérations réalisés dans la zone de voisinage renforcée en Haute Tension dans cette zone seule les opérations non électriques concourantes à la maintenance et à l'exploitation de l'installation ou de l'ouvrage sont autorisées.

Si les locaux ne présentent aucune pièce nue sous tension, il n'y a pas besoin d'être habilité pour faire ces opérations.

Remarque : le changement d'ampoule, le réarmement d'un dispositif de protection ou le remplacement de fusibles sont des opérations d'ordre électrique. Les symboles B0, H0 et H0V ne sont pas adaptés à ces opérations.

II.6.6.L' habilitation nécessaire pour faire un dépannage

Le dépannage est une opération d'ordre électrique, de courte durée et sur une partie réduite d'une installation qui a pour but de mener une action curative sur une installation électrique.

En basse tension, cette activité est généralement dévolue au chargé d'intervention BT Générale habilité symbole BR.

En haute tension, le dépannage doit se faire dans le cadre de travaux. Il est alors réalisé par un chargé de travaux habilité symbole H2 ou H2V, aidé éventuellement d'exécutants habilités symbole H1 ou H1V, sur une installation consignée par un chargé de consignation habilité symbole HC.

II.6.7.les symbole d'habilitation est requis pour consigner pour soi-même et pour les autres

La consignation pour son propre compte n'est autorisée que pour le chargé d'intervention générale (habilité symbole BR, avec éventuellement l'attribut Photovoltaïque) dans le cadre d'une intervention en basse tension et pour les chargés d'essais (habilités symboles B2V Essai, H2V Essai, BE Essai ou HE Essai) dans le cadre de leurs essais.

Pour consigner tout ou partie d'une installation pour des tiers, il faut être habilité chargé de consignation symbole BC en basse tension ou HC en haute tension. Le chargé de consignation ne peut réaliser que des opérations de consignation et de déconsignation. Toutes les autres opérations lui sont interdites.

II.6.8.Le type nécessaire d'habilitation pour effectuer des travaux sous tension

Les travaux sous tension ne peuvent être entrepris que sur un ordre écrit du chef de l'établissement dans lequel ils sont effectués, justifiant la nécessité de travailler sous tension (Article R.4544-7 du Code du travail).

Les travaux sous tension doivent être encadrés par des documents de référence spécifiques (Demande de Travail Sous Tension, Ordre de Travail Sous Tension, Autorisation de Travail Sous Tension...). A l'issue d'une formation dispensée par un organisme agréé l'employeur habilite le personnel et lui remet un titre d'habilitation spécifique, dont le symbole porte la lettre « T » pour les travaux sous tension ou la lettre « N » pour le nettoyage sous tension.

Il est interdit de faire exécuter par des jeunes des opérations sous tension (voir la brochure ED6127 ; §4.2.3).

II.7.La formation**II.7.1.Le choix des profils des salariés à habilitier pour mettre en place la formation adaptée**

Le choix du symbole d'habilitation adapté aux tâches qui seront réalisées par le salarié passe par l'analyse de l'activité (cf. §3 de l'ED 6127- L'habilitation électrique). L'employeur doit ensuite s'assurer que l'activité envisagée est en adéquation avec les compétences et aptitudes (compétences techniques, savoir-être, ...) du travailleur. Lorsqu'il y a effectivement adéquation entre activité, compétences et aptitudes, le travailleur pourra suivre la formation préalable à l'habilitation adaptée à l'activité.

II.7.2.Le personne avertie ?

Une personne avertie est une personne suffisamment informée par une personne qualifiée en électricité pour lui permettre d'éviter les dangers que peut présenter l'électricité.

Pour formaliser qu'une personne est avertie, vous pouvez, par exemple, utiliser le modèle d'avis après formation proposé par la norme NF C18-510 (formation non habilitante).

II.7.5. le contenu de la formation préalable à l'habilitation

Vous trouverez dans notre brochure INRS ED6127 les thèmes que nous conseillons d'aborder lors de ces formations. De plus, l'annexe D (partie 3) de la norme NF C18-510 donne la liste des thèmes à aborder en formation par symbole d'habilitation.

L'employeur est toutefois tenu de s'assurer que le personnel a les connaissances théoriques et pratiques pour travailler en sécurité vis-à-vis du risque électrique.

Les contenus des évaluations sont également indiqués dans la brochure ED 6127, §5.4. De plus, l'annexe D (partie 3) de la norme NF C18-510 donne la liste des thèmes à évaluer par symbole d'habilitation.

II.7.6. les durées des formations initiales et les périodicités de recyclage

Les durées de formations indiquées dans l'annexe D de la norme NF C18-510 sont des durées recommandées. En effet, les formations préalables à l'habilitation électrique (hors habilitation pour travaux sous tension) ne sont pas encadrées, il n'y a pas d'obligation de durée.

L'employeur a l'obligation de s'assurer que les travailleurs ont les connaissances théoriques et pratiques pour travailler en sécurité vis-à-vis du risque électrique : il a donc une obligation de résultat (la personne a les connaissances) et non de moyens (en termes de durées ou de contenus de formation).

II.8. Les opérations « simples ».**II.8.1. le symbole d'habilitation nécessaire pour réarmer un disjoncteur en basse tension**

En basse tension, le symbole d'habilitation requis pour réarmer un dispositif de protection est le symbole BE Manœuvre a minima (ou le symbole BS s'il s'agit d'une intervention élémentaire).

Toutefois, si le disjoncteur est situé hors d'un local à risques particuliers de choc électrique et qu'il possède un indice de protection à minima IP2X ou IPXXB, il est admis que cette manœuvre soit réalisée par une personne avertie et non habilitée. Le personnel doit être spécifiquement formé pour manœuvrer le type d'appareillage concerné.

L'INRS conseille cependant d'habiliter les personnes qui réalisent régulièrement ce type d'opération.

II.9. Les interventions

II.9.1. les limites du symbole d'habilitation BS

Le « Chargé d'intervention BT élémentaire » (symbole BS) réalise des interventions simples de remplacement ou de raccordement sur des circuits électriques ; la liste exhaustive de ces opérations figure dans la norme.

De plus, ces opérations doivent être réalisées sur des circuits terminaux, dans les limites données dans la norme NF C 18- 510 :

tension d'alimentation ≤ 400 Volts en courant alternatif ($\leq 600V$ en courant continu)

circuits protégés par un dispositif de protection de courant assigné ≤ 32 Ampères ca (≤ 16 Ampères cc),

câbles de section inférieure ou égale 6 mm^2 cuivre (10 mm^2 Aluminium).

Ces interventions se réalisent exclusivement hors tension. Le chargé d'intervention BT élémentaire réalise pour son propre compte la Mise Hors Tension de la partie d'installation sur laquelle il est amené à intervenir.

Le chargé d'intervention élémentaire n'a aucun exécutant sous ses ordres. Il ne peut intervenir qu'en absence de voisinage et hors tension.

également remplacer des prises de courant ou des interrupteurs et raccorder du matériel électrique à un circuit en attente, protégé contre les courts-circuits, dans les conditions des interventions élémentaires

II.9.2. la différence entre le symbole BS et le symbole BE Manœuvre

Le symbole BS est le symbole pour les chargés d'intervention BT élémentaires. La liste des opérations que peut réaliser une personne habilitée symbole BS est limitée à :

- Remplacement à l'identique d'un fusible
- Remplacement à l'identique d'une lampe, d'un accessoire d'appareil d'éclairage, d'une prise de courant ou d'un interrupteur
- Raccordement d'un matériel à un circuit en attente
- Réarmement d'un dispositif de protection dans un environnement qui garantit la sécurité de l'opérateur.

Ces opérations doivent être réalisées dans les limites des interventions BT élémentaires définies dans la norme NF C18-510.

Le chargé de manœuvre (BE Manœuvre) ne peut réaliser que des manœuvres d'exploitation ou de consignation (sous l'autorité d'un chargé de consignation). Toute autre opération lui est interdite.

La seule opération commune aux deux symboles est donc le réarmement d'un dispositif de protection.

Toutefois, l'opérateur habilité symbole BS ne pourra réaliser cette opération que dans les limites définies précédemment, contrairement au chargé de manœuvre.

II.9.3.les limites de l'habilitation BR ?

Le « Chargé d'intervention BT générale » (symbole BR) réalise des interventions de courte durée sur des parties de faible étendue d'une installation, telles que l'entretien et le dépannage.

Les interventions doivent être réalisées sur des circuits électriques protégés par un dispositif de protection de courant assigné ≤ 63 Ampères en courant alternatif (≤ 32 Ampères en courant continu).

Le chargé d'intervention générale peut être aidé d'au plus un exécutant habilité symbole B1. Il peut, pour son propre compte et, le cas échéant, pour son exécutant, réaliser les opérations de la consignation sans justifier d'une habilitation de Chargé de Consignation symbole BC.

Les interventions sont réalisées hors tension, cependant, certaines connexions et déconnexions peuvent être effectuées en présence de tension (maxi 500Volts courant alternatif (maxi 750V courant continu), sur des circuits de section inférieure ou égale 6 mm² cuivre (10mm² Aluminium)).

II.9.4.Le symbole nécessaire pour un électricien qui intervient sur une installation avec disjoncteur supérieur à 32 A et 63 A

En basse tension, pour des intensités supérieures à 32 A en courant continu et 63 A en courant alternatif, le symbole va dépendre de l'activité de cet électricien.

A titre d'exemple, s'il réalise des travaux d'ordre électrique, il devra être habilité B1 (ou H1) et travailler sous la conduite d'un chargé de travaux habilité B2 (ou H2) et après consignation de l'installation par un chargé de consignation. S'il réalise des opérations spécifiques telles que des essais, des vérifications, des mesurages ou des manœuvres, il devra être habilité BE (ou HE) + attribut.

II.10.Les opérations spécifiques

II.10.1.le symbole BE Manœuvre

Le symbole BE Manœuvre désigne le chargé d'opération spécifique de Manœuvre dans le domaine de la basse tension.

Le titulaire d'une habilitation BE Manœuvre (chargé de manœuvre) peut réaliser uniquement des manœuvres d'exploitation (mise en marche, réglage ou arrêt d'un équipement, branchement d'équipements amovibles, mise en marche ou arrêt de matériels...) ou de consignation (séparation ou condamnation). Toutes les autres opérations amenant à modifier l'installation électrique (câblage, raccordement, ...) lui sont interdites.

Il peut réaliser les manœuvres d'exploitation dans la zone de voisinage (intérieur d'un local à risques particuliers de choc électrique ou d'une armoire électrique, par exemple).

Il peut également réaliser les manœuvres de consignation sur ordre d'un chargé de consignation habilité symbole BC.

II.10.2.le symbole HE Manœuvre

Le symbole HE Manœuvre désigne le chargé d'opération spécifique de Manœuvre dans le domaine de la haute tension. Les opérations du Chargé de Manœuvre (symbole HE Manœuvre) sont limitées aux manœuvres d'exploitation de l'installation ou de l'ouvrage dans le domaine de la haute tension. Il peut également réaliser les manœuvres de consignation sur ordre du chargé de consignation. Toutes autres opérations lui sont interdites.

II.10.3.le symbole BE Mesurage

Le symbole BE Mesurage désigne le chargé d'opération spécifique Mesurage dans le domaine de la basse tension. Les opérations du Chargé de Mesurage (symbole BE Mesurage) sont limitées aux mesures électriques réalisées sur les ouvrages, les installations ou dans l'environnement de ces derniers et les mesures de grandeurs non électriques réalisées dans l'environnement électrique des ouvrages et installations.

II.10.4.le symbole BE Vérification

Le symbole BE Vérification désigne le chargé de vérifications. Les opérations réalisables par un chargé de vérification BE Vérification intègrent les essais des protections (DDR, ...) et les mesures électriques de sécurité (mesure d'isolement notamment) inhérentes à la vérification. Elles incluent notamment les vérifications d'installations permanentes ou temporaires en basse tension.

II.10.5.le symbole BE Essai

Le symbole BE Essai désigne le chargé d'essais. Celui-ci est en charge de la réalisation d'essais tels que ceux réalisés dans les laboratoires, les plates-formes d'essais, ou lors de processus de fabrication en série. Le symbole BE Essai ne s'applique pas aux opérations relevant des essais mettant en œuvre le principe des travaux (B2V Essai) ou des interventions (BR Essai).

Conclusion

La prévention du risque électrique relève pour l'essentiel de la réglementation du travail.

D'autres prescriptions peuvent compléter les règles de protection des travailleurs : celles du ministère de l'Education nationale sur la sécurité des élèves pendant leur formation, celles du ministère de l'Industrie pour encadrer la conception et l'utilisation de matériels électriques, celles du ministère de l'Environnement pour assurer la sécurité des travaux à proximité de réseaux...

Les règles de prévention des risques électriques figurent dans le Code du travail et se décomposent en 2 parties. L'une s'adresse aux maîtres d'ouvrage. Elle porte sur la conception et la réalisation des installations électriques pour la construction et l'aménagement de bâtiments. La seconde s'adresse aux employeurs qui utilisent des installations électriques, en assurent les vérifications et effectuent des opérations sur ou au voisinage des installations électriques.

CHAPITRE 3 :

Risques Electriques

Introduction :

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.

III.1. Définition du risque électrique :

Le risque électrique peut causer des lésions ou la mort par le choc électrique ou une brûlure pouvant résulter :

- d'une possibilité de contact direct ou indirect d'un salarié avec une pièce sous tension
- du seul fait de sa présence à proximité d'un équipement électrique particulièrement dans la catégorie haute tension (travail au voisinage)
- d'une isolation ne convenant pas dans les conditions d'utilisation prévues.
- d'un phénomène électrostatique (contact d'une personne avec des parties chargées)
- d'un rayonnement thermique ou des phénomènes tels que la projection de particules en fusion et les effets chimiques dus à des courts circuits, surcharges, etc...

Il peut également occasionner des chutes de personnes (ou d'objets lâchés par ces personnes), dues à l'effet de surprise provoqué par ces chocs électriques.[7]

III.2.Nature des accidents électriques :

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

- Leurs actions
- La nature du contact (direct, indirect, etc...)
- 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, et les explosions etc..)

III.3.Les effets du courant électrique :

L'électricité (énergie liée au déplacement d'électrons dans un matériau conducteur) est un fluide invisible indispensable au fonctionnement des installations, des machines, etc.

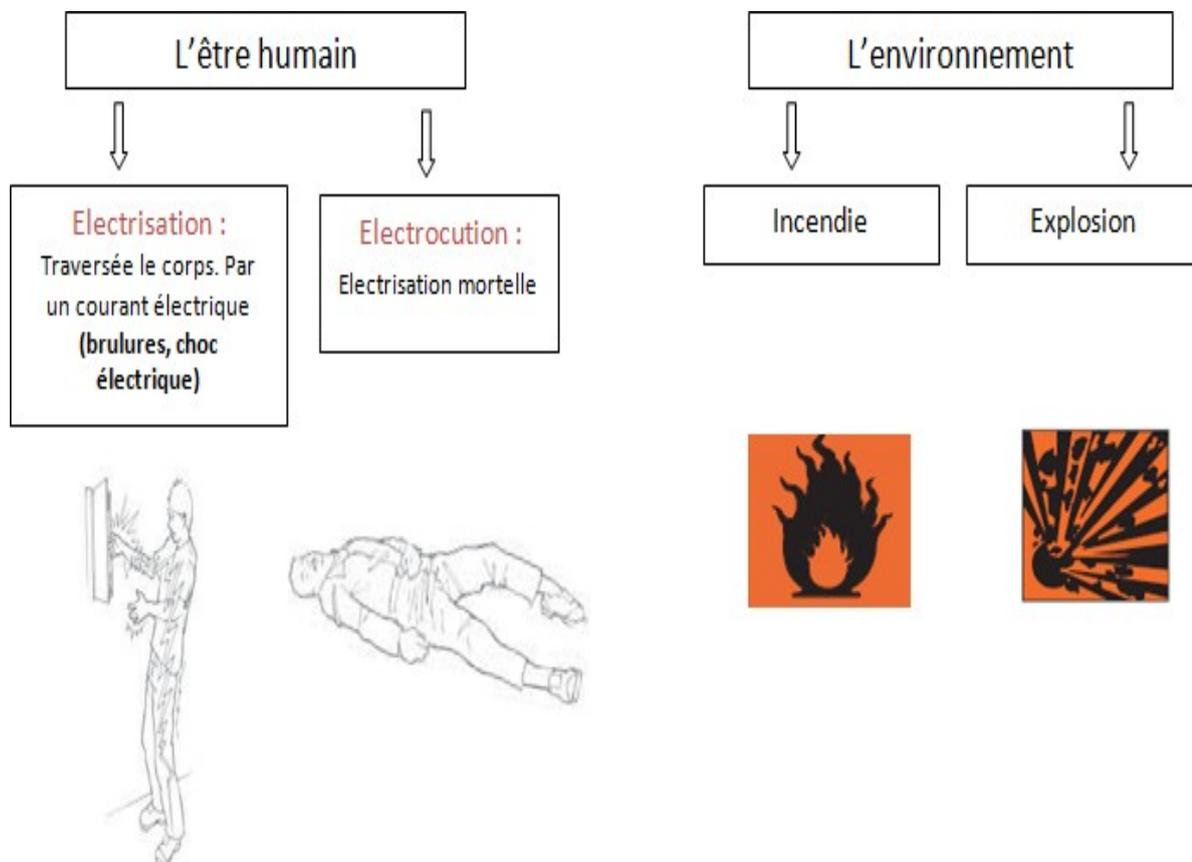


Figure 3.1 : Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain

III.3.1.Effets physiologiques :

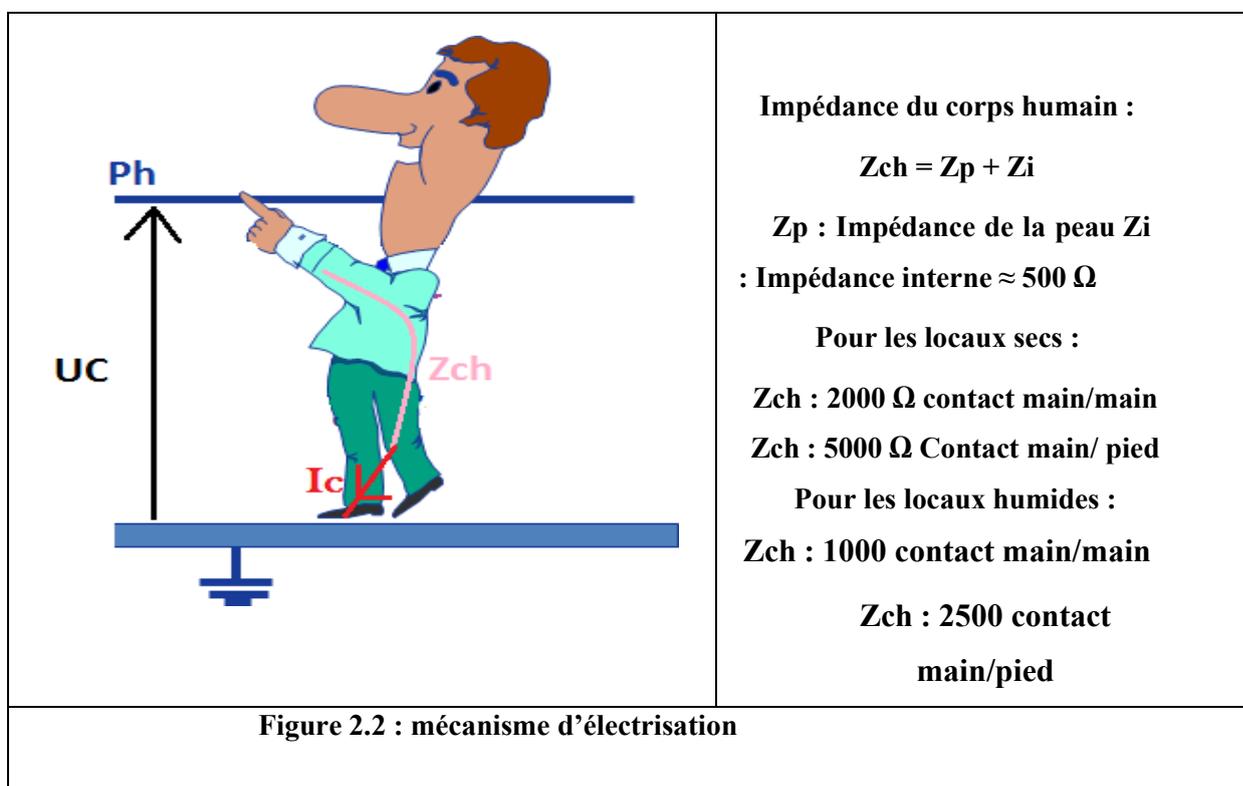
Effets du courant électrique sur le fonctionnement de l'organisme sont :

L'électrisation :

L'électrisation est le passage d'un courant électrique dans le corps, provoquant des blessures plus ou moins graves. Lorsque le corps humain est soumis entre deux points à une tension U_c (tension de contact) il est traversé par un courant I_c 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).



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)[4]

III.4.Types de contact :

III.4.1.Contact direct : (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.

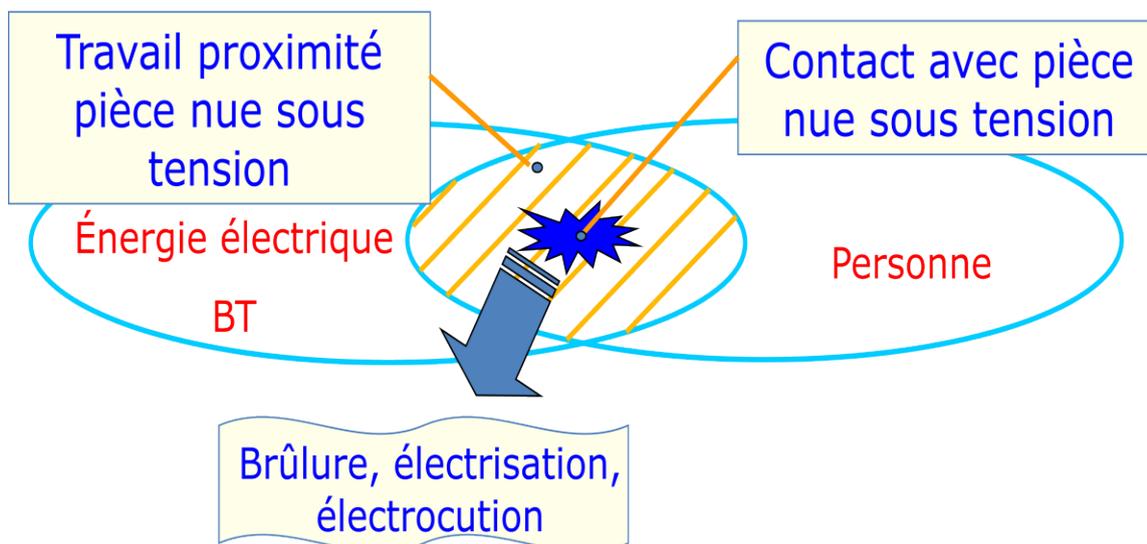


Figure 2.3 : mécanisme d'accident avec contact direct

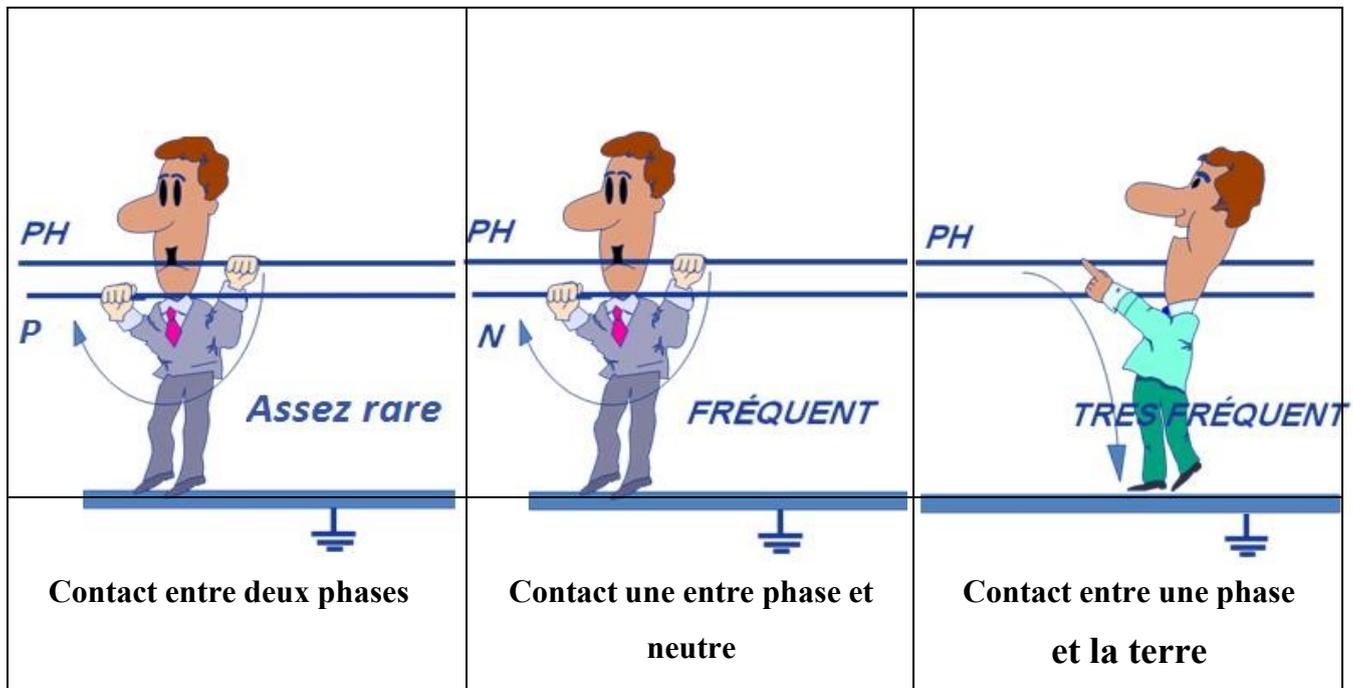


Figure 2.4 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts directs

III.4.2.Contact indirect :(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.

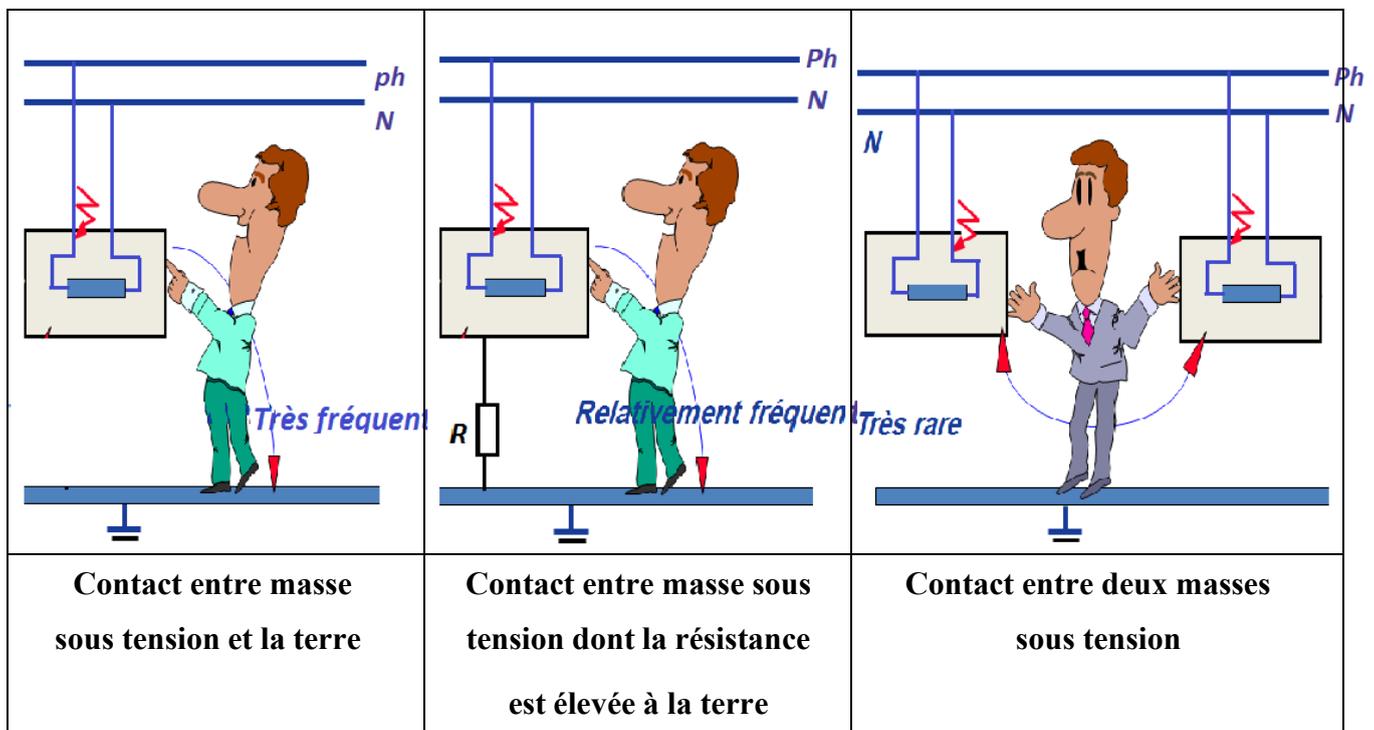


Figure 2.5 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts indirects

a- L'électrocution :

C un terme qui désigne une électrisation immédiatement mortelle



Figure 2.6 Electrocutation mortelle

III.5.Effets sur l'environnement :**III.5.1.Les 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 entre récepteur 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.

III.5.2.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 2.7 Explosion d'origine électrique

III.6.Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain :

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.... [5]

Les effets d'accidents électriques selon le 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

Tableau 2.1 Effets des accidents électriques selon le domaine de tension

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).

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. [8]

III.7. Analyse d'accidents d'origine électriques :**III.7.1. Par contact direct :****III.7.1.1 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 est mort 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 de $400 / \sqrt{3} = 230$ V.



Figure 2.9 : Electrocutation par ligne de contact alimentant un pont roulant

Cause de l'accident : Faux mouvement (contact de la main avec un conducteur 230 V)

Conséquence : Morte de l'ouvrier

Enseignement :

Ce travail aurait du 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.

III.7.1.2.Travail sous tension :**Scénario de l'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 la différence de potentiel phase / terre, il s'écroule foudroyé.



Figure 2.10 : travail sous tension dans un sous sol

Cause de l'accident :Contact avec une pièce sous tension.

Conséquence :Travailleur s'écroule foudroyé.

Enseignement :

Ce travail n'aurait pas du être effectué sous tension puisque ce n'était pas indispensable.

III.7.2.Par contact indirect :**III.7.2.1.Eclairage 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 defil. 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'infirmerie, 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.

Cause de l'accident :Douille en contact accidentellement avec un conducteur sous tension

Conséquence :Chute au sol

Enseignement :

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 :

- 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.

Ainsi, cette installation aurait dû être alimentée en TBTS à partir de transformateurs de sécurité.

III.7.2.2. Electrocutation dans une filature :

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.

Causes de l'accident :

- le non-respect dû soit à la méconnaissance, l'oubli, etc. Au moment du montage, soit à une mauvaise surveillance et un mauvais entretien.
- Isolation des conducteurs d'alimentation défectueuse.

Conséquence de l'accident : Electrocutation mortelle

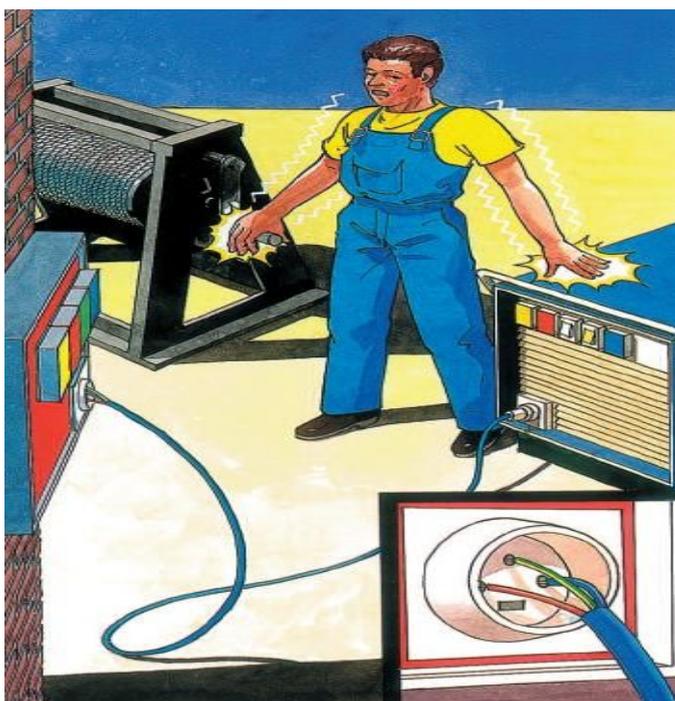


Figure 2.11 : Electrocutation dans une filature

Enseignement :

La mise à la terre de toutes les masses du matériel et de l'appareillage qui ne sont pas alimentés en TBTS ou TBTP.

III.7.3.Brûlure, incendie ou explosion d'origine électrique :**III.7.3.1.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 ne correspondante.

Un arc se produit et l'ouvrier est gravement brûlé aux mains et au visage.[9]

Cause de l'accident :Arc électrique.

Conséquence de l'accident :Brûlure aux mains et au visage.

Enseignement :

En effet,dansce cas, il se produit un arc d'autant plus important que lecourant 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)

III.7.3.2.Ouverture d'un sectionneur en charge :

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.[9]

Cause de l'accident :Flash électrique.

Conséquence :Pas de dommage mais détérioration d'une grande partie de l'appareillage.

Enseignement :

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.

III.8. Analyse des accidents d'origine électrique à CYTAL :**III.8.1. Explosion fusible transformateur de potentiel centrale utilité CU2 :**

Nature de l'incident : Explosion fusibles.

Zone de l'incident : Salle électrique centrale utilités (CU2).

Lieu de l'incident : Cellule de transformateur de mesure et de couplage jeux de barres 1, 2, 10MVA.

Dégâts Matériels : Eclatement Fusibles TP.

Dégâts humains : Brûlure d'un employeur.

Scénario de l'accident :

Lors de fonctionnement normale des l'installation électriques de la salle électrique centrale utilités 2 un incident est survenu sur le système de transformation d'énergie électrique (le transformateur de potentiel TP reliait au système de synchronisation groupe MT Cytal et réseau SONELGAZ) il s'agit d'un échauffement, fusion fusibles suivis d'une explosion.

Scène de l'incident :



Cellule de transformateur de mesure et de couplage jeux de barres 1,2



Cellule de transformateur endommagée



Fusibles protection TP - explosés après échauffement



Partie fixe du contact du TP au niveau des jeux de barre



III.8.2.Mode de fonctionnement du transformateur de potentiel (TP):

Le transformateur de potentiel est un transformateur abaisseur.

Il sert principalement à isoler les appareils de mesure pour permettre la lecture de tension des lignes à haute tension.

Grâce au transformateur de potentiel, on peut employer un instrument standard pour mesurer des tensions très élevées de l'ordre de milliers de volts. Ainsi, ce type de transformateur permet, par exemple, à un voltmètre de calibre 0 - 150 V de mesurer une tension aussi élevée que 5500 volts.

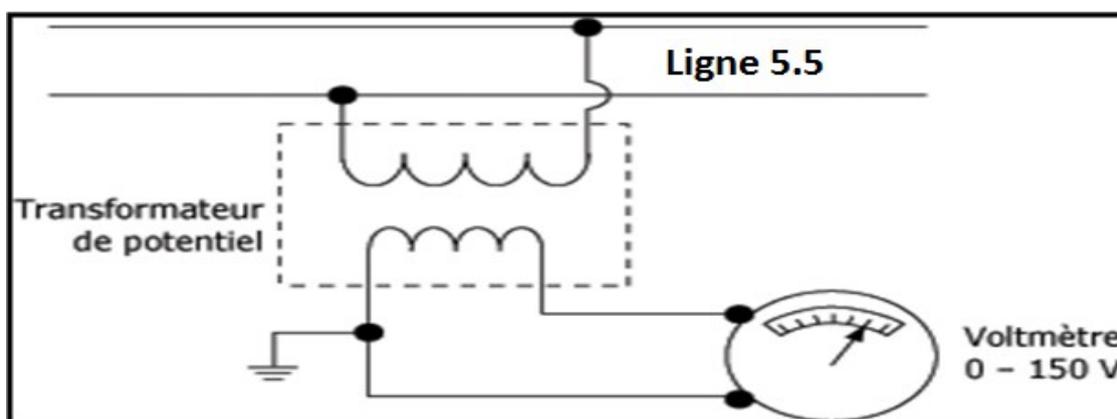


Figure 2.12 : schéma du Transformateur de potentiel

Causes de l'accident :

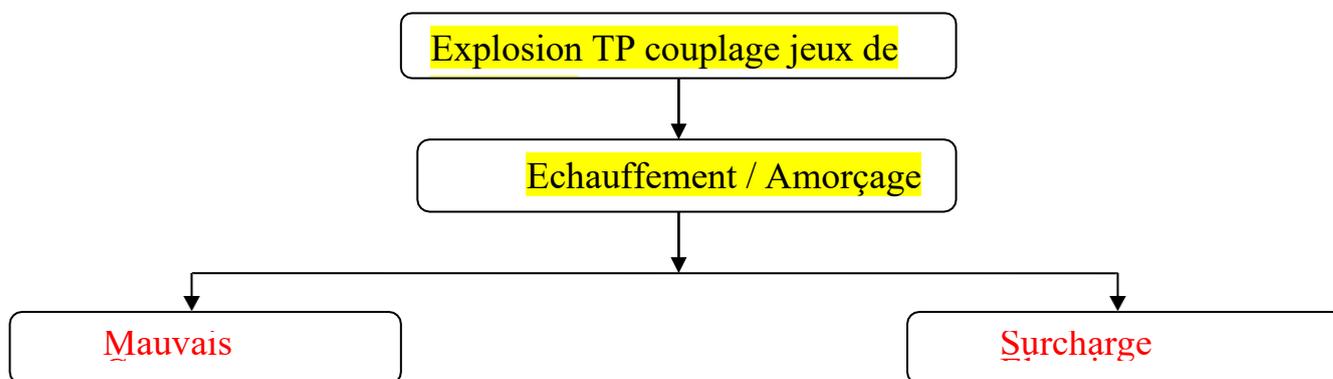


Figure 2.13 : causes de l'accident salle électrique CU2

Causes directes : Explosion TP couplages jeu de barres 1,2.

Causes indirectes : Mauvais contact, surcharge électrique et échauffement / amorçage.

Actions correctives :

- Assurer un plan de maintenance préventif de la partie fixe.
- Programmer des inspections périodiques contrôle d'échauffement.

III.8.3. Incident salle électrique coffret compresseur :

Nature de l'incident : Incendie.

Zone de l'incident : Salle Électrique NPK.

Lieu de l'incident : Coffret compresseur d'air ATLAS COPCO.

Circonstance de l'incident :

L'incident a eu lieu au niveau de l'unité NPK, les dégâts constatés sont la fusion des barrettes en cuivre, les supports d'isolations et le capot de protection dans la partie extérieure du tiroir au niveau de la connexion départ câble pour l'alimentation du compresseur d'air ATLAS COPCO.

Un court-circuit entre phase est l'origine de cet incident. Les dégâts ont été limités à l'endroit signalé grâce au déclenchement du disjoncteur départ compresseur d'air ATLAS COPCO.



Figure 2.14 incident salle électrique coffret compresseur

Causes de l'incident :

Causes directes : Court-circuit entre phases.

Causes indirectes :

- Vieillesse de l'isolation dû à l'échauffement des barrettes de connexion suite au courant appelé.
- Fréquence de démarrage/arrêt très élevées du compresseur d'air.
- La température ambiante élevée au niveau de la salle électrique.

Actions correctives :

- Assurer un plan de contrôle périodique en utilisant des appareils de mesures par thermographie afin de détecter les points chauds sur les points de connexions (début d'amorçage)
- Remise en état de la climatisation des salles électriques.
- Programmer des inspections périodiques pour contrôle par thermographie
- programmer des inspections périodiques pour contrôle d'échauffement (contacts entre clinquants et fusibles).

III.8.4.Rapport investigation incident salle électrique partie commune NINA :

Nature de l'incident:Incendie

Zone de l'incident:Tableau électrique partie commune NINA.

Lieu de l'incident :Jeu de bars

Dégâts Matériels:Détérioration de la colonne N°7.

Circonstance d'incident :

Un incident survenu au niveau de la salle électrique partie commune NINA ; suite à une chute de tension importante sur le réseau de SONELGAZ se qui a provoqué un appel de courant important dans le circuit électrique des installations de basse tension.

Un amorçage s'est produit au niveau de jeu de barre (point faible) en provoquant un échauffement et feu sur cette armoire.

Le système détection /extinction par le CO2 à répondu y en limitant les dégâts.

Causes d'accident

Causes directes :

- Chute de tension.
- Amorçage jeu de barre.

Causes indirectes :

- Manque préventif.

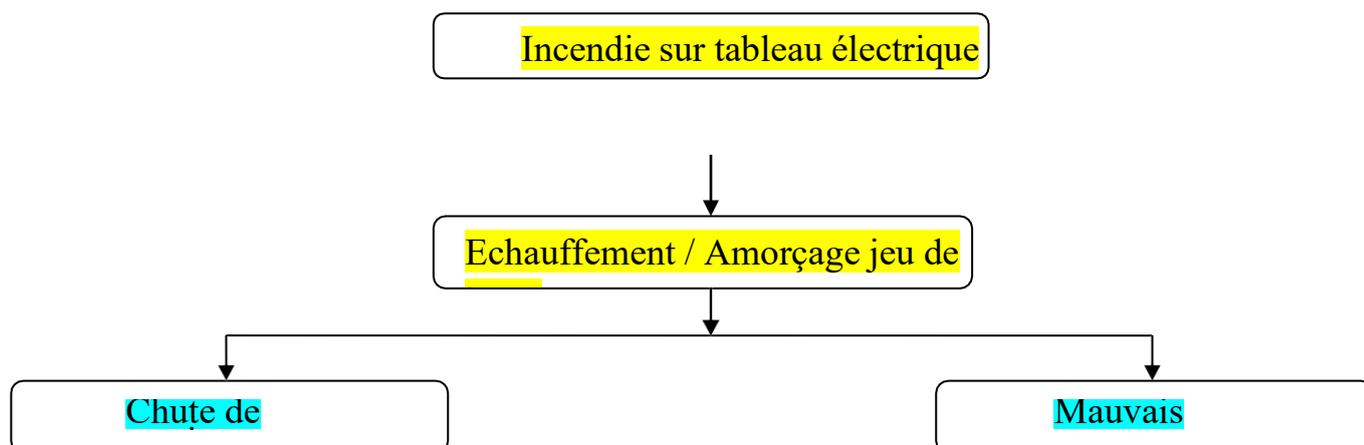


Figure 3.15 Les causes de l'incident partie commune NINA

Actions correctives :

- Assurer un plan de maintenance préventif annuel et quinquennal des parties fixes (jeu de barre).
- Amélioration du système d'extinction par un autre adressable (plus efficace).
- Acquisition d'un stabilisateur de tension.
- Programmer des inspections périodiques pour contrôle d'échauffement. [3]

III.9.Conclusion :

Les risques électriques peuvent présenter un danger pour la vie des personnes ainsi que la défaillance des installations électriques. Ces risques sont dus à une non mise en sécurité des installations électriques.

Une personne soumise à une tension électrique subit, selon l'importance de celle-ci, des effets graves pouvant aller jusqu'à la mort.

Si on examine l'évolution des causes d'accidents, bien que le nombre de ceux-ci ne soit pas constant et qu'ils n'aient pas tous été répertoriés, on s'aperçoit que c'est la qualification inadéquate du personnel et la mauvaise organisation du travail qui restent les causes principales d'accidents d'origine électrique, alors que la défektivité des installations est plutôt en régression.

Il faut donc porter tout particulièrement les efforts sur :

- la formation du personnel : sensibilisation aux risques électriques (contact avec des conducteurs actifs ou les pièces conductrices habituellement sous tension, contact avec des masses mises accidentellement sous tension, risques de brûlures, incendies ou explosion), dispositions à prendre pour assurer la protection des travailleurs contre ces risques, utilisation et entretien des installations.
- L'organisation du travail (utilisation d'outils, appareils de mesure, équipements, etc., adaptés aux interventions et travaux et en bon état, méthodes de travail, procédures à respecter...

CHAPITRE 4 :

Les méthodes d'analyse des risques et Application de
l'AMDEC
(Résultats et suggestions)

Objectif des méthodes d'analyse des risques :

Les méthodes d'analyse des risques ont pour objectif de :

- a- Apprécier le niveau de dangerosité (risques et conséquences) d'une installation.
- b- Diminuer les risques techniques, pour :
 - Assurer et améliorer :
 - la protection de l'exploitant
 - la protection de l'environnement et des populations
 - la qualité de la production
 - la fiabilité de l'outil
 - Se conformer à la réglementation.
 - Faire des investissements appropriés au niveau des risques.

Méthodologie de l'analyse des risques :

L'analyse des risques doit être structurée et appliquée de telle sorte qu'elle aide à faire

une analyse par étapes, ces étapes sont illustrées dans cette figure :

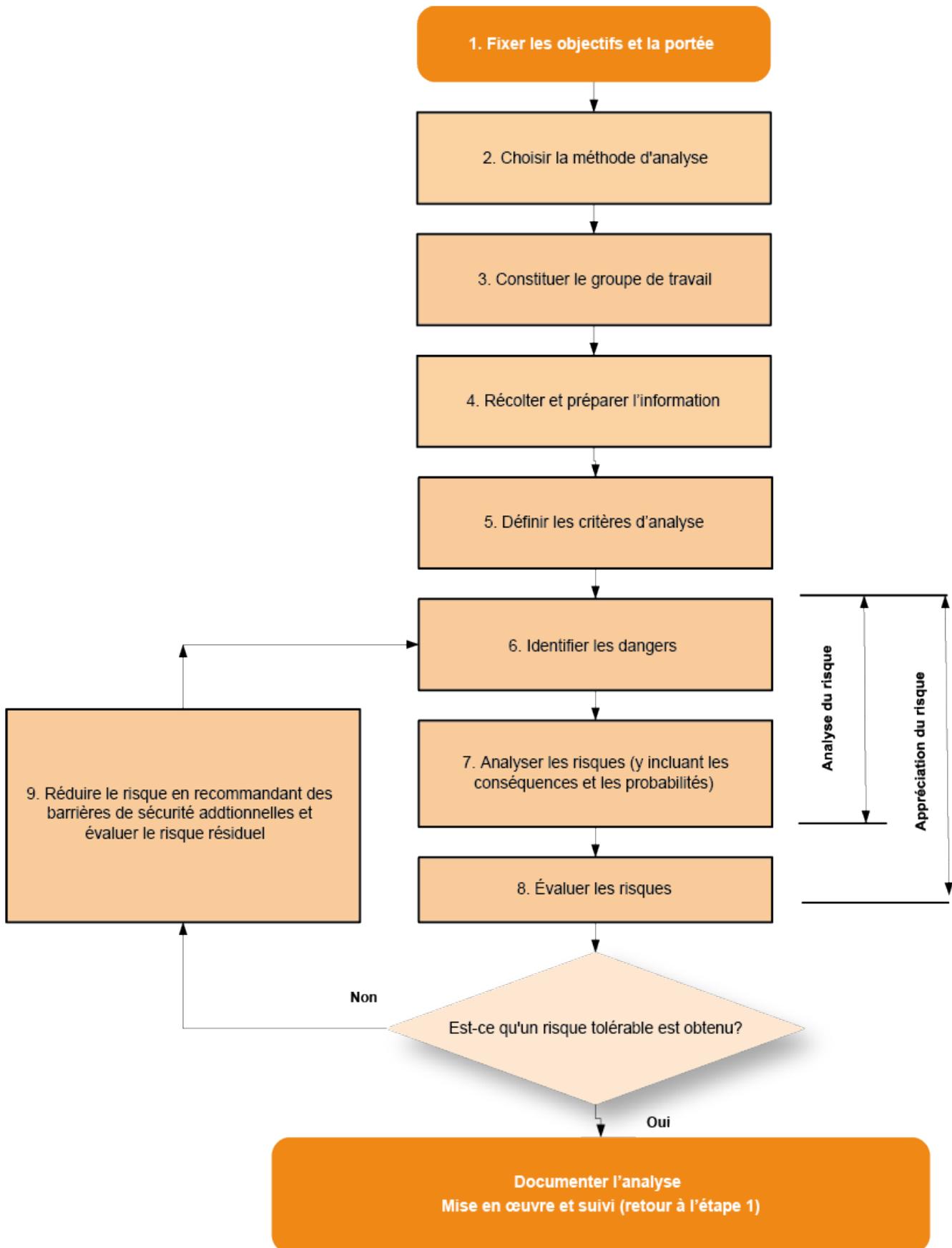


Figure 4.1 : processus d'analyse des risques

IV.1. Classification des méthodes d'analyse des risques :

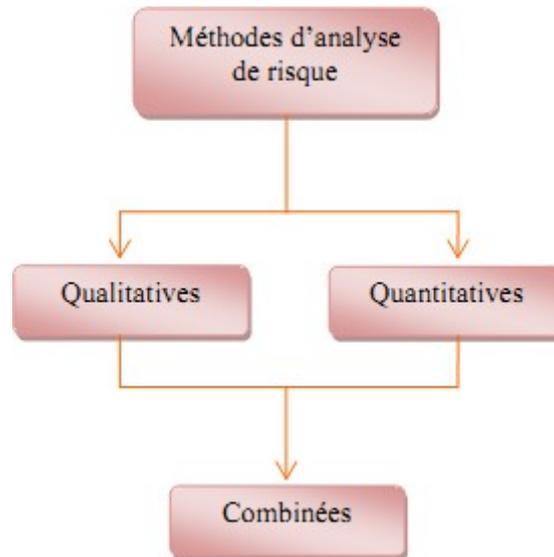


Figure 4.2 : Typologie des méthodes d'analyse de risque

IV.1.1 Méthodes quantitatives :

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaines de Markov, les réseaux de pétri, les automates d'états finis, etc.

Les analyses quantitatives ont de nombreux avantages car elles permettent:

- évaluer la probabilité des composantes de la sûreté de fonctionnement.
- fixer des objectifs de sécurité.
- juger de l'acceptabilité des risques en intégrant les notions de périodicité des contrôles, la durée des situations dangereuses, la nature d'exposition, etc.
- apporter une aide précieuse pour mieux juger du besoin d'améliorer la sécurité.
- hiérarchiser les risques.
- comparer et ensuite ordonner les actions à entreprendre en engageant d'abord celles permettant de réduire significativement les risques.
- chercher de meilleures coordination et concertation en matière de sécurité entre différents opérateurs (sous systèmes interagissant) ou équipes (exploitation, maintenance, etc.).

Quoi que l'utilité des méthodes quantitatives soit indiscutable, ces dernières présentent tout de même un certain investissement en temps, en efforts et également en moyens (logiciels, matériels, financiers, etc.). Il peut s'avérer que cet investissement soit disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, le cas échéant l'analyse quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.)

IV.1.1.1. Méthode qualitatives :

L'analyse qualitative des risques constitue un préalable à toute autre analyse. En effet, elle permet la bonne compréhension et connaissance systématique du système étudié et de ses composants. Pour une bonne évaluation qualitative du risque, cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations pertinentes sur l'état du système et surtout sur le retour d'expérience et les jugements d'experts. Cette approche nécessite alors une très bonne connaissance des différents paramètres et causes liés au système étudié. Dans quelques études de dangers, cette approche peut être suffisante pour atteindre les objectifs voulus si elle est bien menée et justifiée.

De nombreux outils d'analyse et d'évaluation des risques à caractère qualitatif existent, parmi lesquels nous retrouvons l'APR, HAZOP, l'AMDEC, l'Arbre de Défaillances ou l'Arbre d'Evénements...

IV.1.1.2. Méthode semi-quantitatives :

L'analyse semi-quantitative des risques est une approche qui n'est ni purement qualitative ni purement quantitative. Cette démarche a pour but d'enlever l'aspect hautement subjectif de l'information utilisée dans l'approche qualitative en lui donnant plus de précision et d'exactitude, et en même temps pour assouplir et combler le manque de la robustesse des données de l'approche quantitative.

De nombreux outils et méthodes d'analyse et d'évaluation à caractère semi-quantitatif ont été développés. Dans ce qui suit, on présentera une méthode parmi les plus utilisées dans l'évaluation des risques. [12]

IV.2. Différentes méthodes d'analyse des risques :

Certaines méthodes d'analyse des risques sont limitées à la seule identification des

dangers alors que d'autres intègrent l'aspect analyse et évaluation. Ces différentes méthodes d'analyse des risques sont utilisables soit par un seul expert soit par un groupe d'experts selon l'objectif attendu de l'étude en cours.

IV.2.1. Analyse préliminaire des risques : (APR)

Objectif :

- Prendre en compte le facteur sécurité dès la phase recherche et conception d'une installation
- Envisager :
 - a priori tous les risques inhérents aux produits, procédés, équipements, implantation.
 - leurs causes et conséquences.
 - les mesures de maîtrise des risques en place et prévues.
- Estimer pour chacun des risques le niveau de risques (P x G) sans et avec les mesures de protection
- Répertorier les risques nécessitant une analyse complémentaire plus fine ("scénarios critiques")

IV.2.1.1. Mise en œuvre de la méthode :

- Préparer des fiches Produits, Procédés, Équipements, Environnement, Antécédent.
- Établir les scénarios d'accidents.
- Regrouper sous forme d'un dossier les données recueillies et les mesures prises.
- Vérifier, Remettre à jour, Compléter ce dossier jusqu'à la fin de vie de l'installation.

Intérêts :

- Indispensable pour les installations nouvelles.
- Evite les erreurs fondamentales de conception.
- Permet de mettre en évidence les risques principaux.
- Analyse qualitative, relativement facile à effectuer qui requiert un minimum de personnel.

Limites :

- Ne détecte que les risques "évidents"

- Ne permet pas d'identifier les risques liés à la complexité des systèmes

IV.2.2.HAZOP (hazard and operability study) :

Objectif :

- Recherche systématique des causes possibles de dérive de tous les paramètres de fonctionnement d'une installation.
- Mise en évidence des principaux problèmes d'exploitation et d'entretien.
- Etude des conséquences et risques éventuels liés à ces dérives.
- Proposition des mesures correctives appropriées.

Mise en œuvre de la méthode :

- Constituer une équipe pluridisciplinaire.
- Préparer les documents nécessaires : plan de circulation des fluides (pcf, pid), autres documents préparatoires (éléments caractéristiques des capacités, des pompes, ...)
- Découper l'installation en systèmes géographico-fonctionnels aussi simples et homogènes que possible.
- Rechercher les causes possibles de dérive.
- Déterminer les conséquences.
- Etablir si nécessaire une semi-quantification du risque (probabilité, gravité).
- Apporter les mesures compensatoires nécessaires : prévention, détection, protection.
- Vérifier que la mesure corrective n'apporte pas de risque nouveau.

Intérêts :

- Méthode systématique et qualitative qui vient en complément de l'apr. Elle permet l'examen méthodique des risques par un groupe pluridisciplinaire, de déceler les problèmes de sécurité et d'opérabilité.
- méthode qui permet d'améliorer le niveau de sécurité des unités neuves ou existantes.
- Méthode utilisable pour gérer les modifications.
-

Limites :

- Méthode lourde à mettre en œuvre sur des installations complètes qui pour être

efficace doit être appliquée de manière rigoureuse.

- Méthode qui ne permet pas :
 - D'être sûr d'avoir pris en compte tous les risques.
 - De traiter le cas de défaillances multiples.

IV.2.3.Méthode “ WHAT IF? ” (que se passe-t-il si ?) :

Objectifs :

- s'assurer en dernier recours que le plus grand nombre de risques a été pris en compte
- examiner les aspects sécurité d'une installation en marche normale, en phases de démarrage-arrêt, en situations anormales, lors d'opération de maintenance,...

Mise en œuvre de la méthode :

- Constituer une équipe pluridisciplinaire (animateur, secrétaire, recherche, procédé, projet, fabrication, entretien, service she, ...) Qualifiée et avec une expérience significative.
- Présenter succinctement l'installation concernée.
- Laisser libre cours aux questions de type “what if?” sans essayer de répondre en détail exemples de questions :
 - Que se passe-t-il si on se trompe de matières premières ?
 - Que se passe-t-il si la pompe s'arrête ?
 - Que se passe-t-il si l'opérateur ouvre la vanne A au lieu de la vanne B ?

À travers ces questions, les participants font part de leur préoccupation sur les événements indésirables qui pourraient survenir. Toute question peut être posée en revue what-if à condition qu'elle soit liée à un aspect sécurité.

Intérêts :

- Méthode simple et rapide qui permet d'avoir une vue d'ensemble des installations.

- Méthode non systématique, non structurée et non rigoureuse mais qui permet de traiter toutes les questions spontanées que peuvent se poser les participants.
- Peu consommatrice de temps.

Limites :

- Exige un suivi minutieux des réunions pour s'assurer que tous les problèmes soulevés sont résolus.
- Emergence d'idées sans aucun a priori.

IV.2.4. Arbre de défaillances (fault tree analysis) :

Méthode appelée aussi :

- Arbre de dysfonctionnements.
- Arbre des défauts.

Objectifs :

- A partir d'un événement final indésirable, rechercher les combinaisons des différents événements élémentaires ou défaillances qui peuvent y conduire.
- Réduire la probabilité d'occurrence de cet événement final.

mise en œuvre de la méthode :

- Définition de l'événement final indésirable.
- Etude du système.
- Construction de l'arbre.
- Exploitation de l'arbre :
 - Evaluation de la probabilité des événements élémentaires.
 - Calcul de la probabilité de l'événement final.
 - Mise en évidence des chemins critiques.

IV.2.5. Modification de la structure de l'arbre par adjonction de barrières supplémentaires.

Intérêts :

- Méthode qualitative et semi-quantitative précise qui est le travail d'une équipe pluridisciplinaire

- Fait intervenir les combinaisons d'événements
- Permet de déterminer les chemins critiques et facilite le choix des actions de préventions.

Limites :

- Le choix judicieux et objectif des probabilités d'occurrence est essentiel.
- Attention "aux calculs scientifiques exacts" à partir de "données fausses".
- peu appropriée aux phases transitoires et aux procédés discontinus.

IV.2.6. Arbre des événements (event tree) :

Méthode appelée aussi arbre des conséquences.

Objectifs :

- A partir d'un événement indésirable, rechercher Les scénarios possibles d'évolution en événements accidentels.
- Estimer les probabilités d'occurrence de chacun des scénarios.

Mise en œuvre de la méthode :

- Définir l'événement indésirable.
- Calculer ou rechercher dans des banques de données sa probabilité d'occurrence.
- Représenter graphiquement par un arbre les scénarios chronologiques d'événements aggravants.
- Découper l'installation en sections isolables.
- Estimer (calculer) la probabilité d'occurrence des conséquences.

Intérêts :

- Méthode qui permet d'envisager de manière systématique tous les déroulements possibles d'un événement indésirable.
- Le positionnement de barrières de sécurité (de défense) ou ips permet de :
 - Diminuer la probabilité d'occurrence de l'événement redouté.
 - Limiter ses effets.

Limites :

- Volume de travail considérable pour les installations complexes : grand nombre de scénarios, d'arbres.
- Difficultés pour utiliser des probabilités d'occurrence ou des facteurs correctifs "spécifiques" à l'installation étudiée. [12]

Comparaison entre les méthodes d'analyse des risques :

Méthode	Avantages	Inconvénients	Durée Type	
			Installation "simple"	Installation "complexe"
APR	<ul style="list-style-type: none"> - Méthodique/facile - Bien adapté aux procédés discontinus, aux risques mal connus, aux Installations peu étudiées 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas exhaustive (risque d'oubli) - Caractère préliminaire (détail du procédé non couvert) - Ne traite pas les Interactions 	Quelques jours	Quelques semaines
HAZOP	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptée à des procédés continus - Systématique - Utilisable pour gérer les modifications - Transposable à un système de pensée 	<p>Lourd - Divergence facile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ne permet pas la représentation des combinaisons d'événements ou leur enchaînement 	4 heures - 1 semaine (= 3 jours par PID)	1 semaine - 6 semaines

CHAPITRE IV [L'AMDEC]

“WHAT IF.	<ul style="list-style-type: none"> - Simple - Adaptée aux études préliminaires - Utilisable en exploitation courante 	<ul style="list-style-type: none"> - Non systématique/non rigoureuse - Non adaptée à la fiabilité humaine - Repose sur la connaissance et l'expérience de l'analyste 	2 heures-2 jours	2 jours - 3 semaines
AMDEC	<ul style="list-style-type: none"> - Adapté à des systèmes avec composants - Prise en compte de la probabilité de défaillance - Évaluation aisée des améliorations - Adaptée à la fiabilité humaine (opérateur =composant) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne traite pas les Interactions, défaillances multiples, - Méthode Inadaptée pour systèmes très Informatisés 	2 jours – 1 semaine	1 Semaine à 2 Semaines
Arbre de défaillances Arbre des événements	<ul style="list-style-type: none"> - Groupe de spécialistes - Gère bien les Interactions entre systèmes (probabilité de défaillance globale) - Évaluation aisée des améliorations 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexe (à réserver aux risques majeurs) - Repose sur données statistiques - À utiliser après une méthode Inductive (HAZOP, AMDEC) 	Plusieurs semaines	Plusieurs semaines à plusieurs mois

Cette durée comprend:

- La phase de préparation : 20 % du temps
- La phase de dévaluation : 40% du temps
- La phase de documentation : 40 % du temps

Tableau 4.1 : comparaison entre les méthodes d'analyse des risques

IV.3. AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) Failure modes and effects analysis (FMEX) :

Historique et domaine d'application :

L'AMDEC a été créée aux États-Unis par la société Mc Donnell Douglas en 1966. Elle consistait à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences. La méthode a été mise au point par la NASA et le secteur de l'armement sous le nom de FMEA pour évaluer l'efficacité d'un système. Dans un contexte spécifique, cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes où l'on doit respecter des objectifs de fiabilité et de sécurité. A la fin des années soixante-dix, la méthode fut largement adoptée par Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler et d'autres grands constructeurs d'automobiles.

La méthode a fait ses preuves dans les industries suivantes : spatiale, armement, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimie, informatique et plus récemment, on commence à s'y intéresser dans les services.

Définition :

C'est une méthodologie rigoureuse visant à identifier les modes potentiels et traiter les défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer et de minimiser les risques associés. Les défaillances peuvent être celles d'un objet, d'une machine, d'un service ou d'un processus quelconques. Mais en pratique les plus gros utilisateurs se retrouvent dans l'industrie manufacturière, et en particulier l'automobile et l'aéronautique.

Les objectifs de L'AMDEC :

- Rechercher les défaillances pouvant conduire à un événement indésirable
- Classifier ces défaillances
- Contrôler les défaillances critiques au moyen d'actions correctives

IV.3.1. Types de L'AMDEC :

Il existe plusieurs types d'AMDEC, parmi les plus importants, mentionnons :

IV.3.1.2. L'AMDEC organisation :

Elle s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires: du premier niveau qui englobe le système de gestion le système d'information, le système production le système personnel, le système marketing et le système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.

IV.3.3. L'AMDEC produit :

Elle est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique L'AMDEC- composants.

IV.3.1.4. L'AMDEC processus :

Elle s'applique à des processus de fabrication. Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être aussi utilisée pour les postes de travail.

IV.3.1.5. L'AMDEC moyen :

Elle s'applique à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels et des systèmes de transport interne.

IV.3.1.6. L'AMDEC service :

Elle s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service corresponde aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.

IV.3.1.7. L'AMDEC sécurité :

Elle s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci.

IV.3.2. Les aspects de la méthode :

IV.3.2.1. L'aspect qualitatif :

L'aspect qualitatif de l'étude consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié, de rechercher et d'identifier les causes des défaillances et d'en connaître les effets qui peuvent affecter les clients, les utilisateurs et l'environnement interne ou externe.

IV.3.2.1. L'aspect quantitatif :

L'aspect quantitatif consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle. Le but de cette estimation est l'identification et la hiérarchisation des défaillances potentielles. Celles-ci sont alors mises en évidence en appliquant certains critères dont, entre autres, l'impact sur le client. La hiérarchisation des modes de défaillance par ordre décroissant, facilite la recherche et la prise d'actions prioritaires qui doivent diminuer l'impact sur les clients ou qui élimineraient complètement les causes des défauts potentiels.

Intérêts :

- Analyse qualitative et quantitative rigoureuse et précise.
- Intègre différentes notions liées à la sécurité : maintenance, opérabilité, fiabilité.
- Démarche inverse de l'arbre des défaillances.

Limites :

- Méthode longue et fastidieuse pour systèmes complexes. Toutefois la méthode peut être arrêtée à l'analyse qualitative et porte le nom d'AMDE.
- Inadaptée pour système très informatisé.
- Ne permet pas de détecter les défaillances multiples.
- Difficultés pour déterminer "à quel niveau ?" Doit s'arrêter l'analyse.

IV.3.3. Mise en œuvre de la méthode :

- Définir le système étudié.
- Découpage du système en sous-systèmes, assemblage, composant, etc.
- Définir les modes de défaillance.
- Définir les causes des défaillances sous l'angle de fonction et défaillances de performances.
- Définir les effets des défaillances locaux et sur le système.
- Compensations / détection.
- Gravité / probabilité / criticité (niveau de risque).

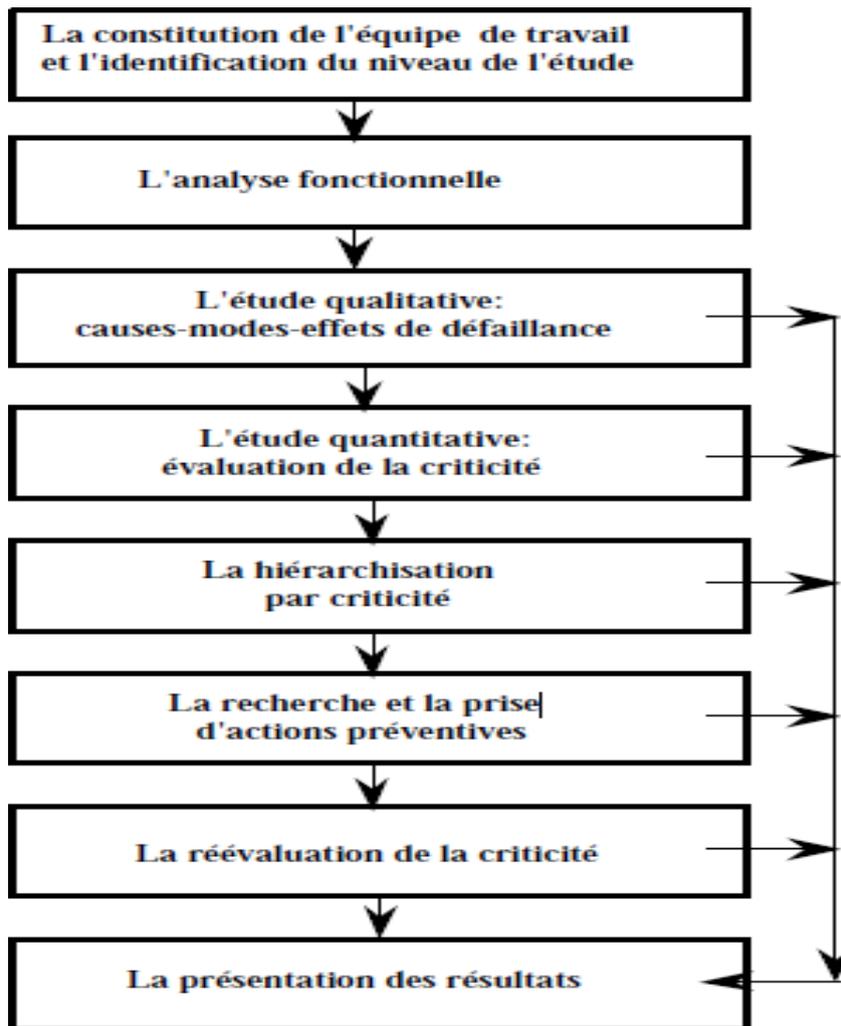


Figure 4.3 : Processus de l'AMDEC

IV.4. Etude de la criticité :

Il s'agit là de la partie quantitative de l'étude, On doit noter :

- La gravité des effets associés chaque mode de défaillance (on parle de facteur 'G' ou parfois 'S', pour l'anglais severity) ;
- La fréquence d'apparition de chaque mode de défaillance – elle découle des causes (on parle de facteur 'F' ou parfois 'O', pour l'anglais occurrence) ;
- La probabilité de ne pas détecter le mode de défaillance (on parle de facteur 'D')

La criticité C se définit alors comme le produit des trois facteurs :

$$C = F * G * D$$

CHAPIE IV [L'AMDEC]

		Niveau de Gravité			
		Insignifiant	Marginal	Critique	Catastrophique
Fréquence	Fréquent	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Probable	Acceptable sous contrôle	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable
	Occasionnel	Acceptable sous contrôle	Indésirable	Indésirable	Inacceptable
	Rare	Acceptable	Acceptable sous contrôle	Indésirable	Indésirable
	Improbable	Acceptable	Acceptable	Acceptable sous contrôle	Indésirable
	Invraisemblable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable sous contrôle

Tableau 4.2 : Evaluation de la criticité

IV.4.1.L'indice de non-défectabilité (Probabilité) :

Rien n'est pire qu'une défaillance inopinée : on n'a pas pu anticiper, s'organiser; les risques d'accidents corporels sont élevés ; les temps d'arrêt induits sont élevés.

Il vaut toujours mieux détecter une cause de défaillance, sinon on détectera un effet. Si ni l'un ni l'autre ne sont possibles, mettre en place un système d'alerte (par exemple : les plaquettes de freins usées qui allument un voyant sur le tableau de bord d'une automobile).

Vous retrouverez ci-dessous une table en 4 niveaux, toujours pour les défaillances d'un moyen de production.

Facteur D		probabilité que la cause ne soit pas détectée, ou que le mode de défaillance atteigne l'utilisateur du moyen.
note	niveau de détection	
1	Détection assurée	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave provoqué par la défaillance pendant la production.
2	Détection possible	La cause ou le mode de défaillance sont détectables, mais le risque de ne pas être perçu existe.
3	Détection aléatoire	La cause ou le mode de défaillance sont difficilement détectables, ou les éléments de détection sont peu exploitables.
4	non détectable	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise.

Tableau 4.3 : évaluation de la non-détection

IV.4.2. L'indice de fréquence :

L'estimation de la fréquence d'une défaillance n'est pas facile - surtout lorsqu'on travaille à la conception d'un outil. On pourra s'appuyer sur des statistiques (si l'on possède un historique), sur des informations apportées par un fournisseur, ou sur une fréquence d'exposition au risque.

Vous trouverez ci-dessous une table en 4 niveaux, toujours pour les défaillances d'un moyen de production. Comme la table ci-dessus.

facteur F		fréquence d'apparition de la défaillance, ou probabilité que la cause se produise et qu'elle entraîne le mode de défaillance
note	niveau de fréquence	
1	pratiquement inexistant	défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation. Au plus, 1 défaut dans la durée de vie du moyen de production.
2	rare	défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (à titre indicatif : un défaut par an) ou Composant d'une technologie nouvelle pour laquelle toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel réellement exploité.
3	occasionnelle	défaillance apparue occasionnellement sur du matériel similaire existant en exploitation. (à titre indicatif : 1 défaut par trimestre.)
4	fréquent	défaillance apparue fréquemment sur un composant connu ou sur du matériel similaire en exploitation. (à titre indicatif : 1 défaut par mois.)

Tableau 4.4 : Evaluation de la fréquence

IV.4.3.L'indice de gravité :

La gravité d'une défaillance peut revêtir plusieurs aspects: la sécurité de l'utilisateur, la perte de fonctionnalité.

Vous trouverez ci-dessous une table en 5 niveaux, utilisée pour les défaillances d'un moyen de production, chaque groupe de travail peut adapter à son besoin, son environnement, sa problématique.

[12]

facteur G		critères d'évaluation		
Note	niveau de gravité	durée arrêt (min)	impact sur la qualité produit	impact sur le matériel
1	mineur	≤ 20		défaillance mineure, matériel intact
2	moyen	20 à 60		défaillance moyenne, matériel rapidement réparable
3	majeur	60 à 240	non-conformité, constatée et corrigée au poste de travail	défaillance importante,
4	catastrophique	≥ 240	non-conformité détectée par le client aval, en interne	défaillance grave, dommage matériel important, matériel lentement réparable
5	Sécurité /Qualité		Non-conformité du produit	Accident pouvant impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention

Tableau 4.5 : Evaluation de la gravité

Introduction :

A travers du stage pratique au niveau de l'unité centrale utilité CU II on va faire une étude comprend une partie consacrée aux risques liés au poste 63/5.5 KV, afin de bien préciser les moyens à utiliser pour les réduire.

Dans ce chapitre, on s'intéresse à mettre en pratique ce que nous avons développé dans le chapitre précédent. Nous choisissons la méthode AMDEC qui est une étude de base permettant l'analyse des modes de défaillance et les traiter avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés. Pour assurer la sécurité des personnes et des installations, il est nécessaire que ces matériels répondent à des règles strictes et éprouvées.

Présentation du poste T₃ 63/5.5 KV :

Le poste ouvert de livraison T₃ 63/5.5 KV de la CU 2 est une installation électrique raccordée au réseau de distribution publique sous une tension nominale de 63 KV.

Ce poste est équipé de :

- Deux parafoudres de choc qui assurent la protection contre les foudres et surtensions indésirables.
- Deux sectionneurs qui permettent l'isolement du transformateur de puissance.



Figure 4.2 Transformateur T₃ 63/5.5 KV

Les risques liés au poste :

Le poste électrique 63/5.5 KV présente des risques :

- Sur le voisinage : le poste électrique 63/5.5 KV est situé à l'intérieur du site de Cytal d'Oran, entouré par de bureaux administratifs et des ateliers ainsi des routes d'accès ou la distance entre le poste et son voisinage ne dépendent pas aux mesures de sécurité.
- Sur le personnel intervenant à l'intérieur du poste pour les travaux électriques ou non électriques.
- Ainsi quelques risques liés à l'architecture du poste (un poste ouvert)

Travaux d'ordre électrique :

- Entretien préventif des matériels électriques.
- Vérification et contrôle des systèmes de protection et de mesurage électrique, manœuvres.

Travaux d'ordre non électrique :

- Désherbage.
- Opération de nettoyage.

Application de la méthode AMDEC :

La figure ci-dessus présente la décomposition fonctionnelle de l'installation électrique étudiée.

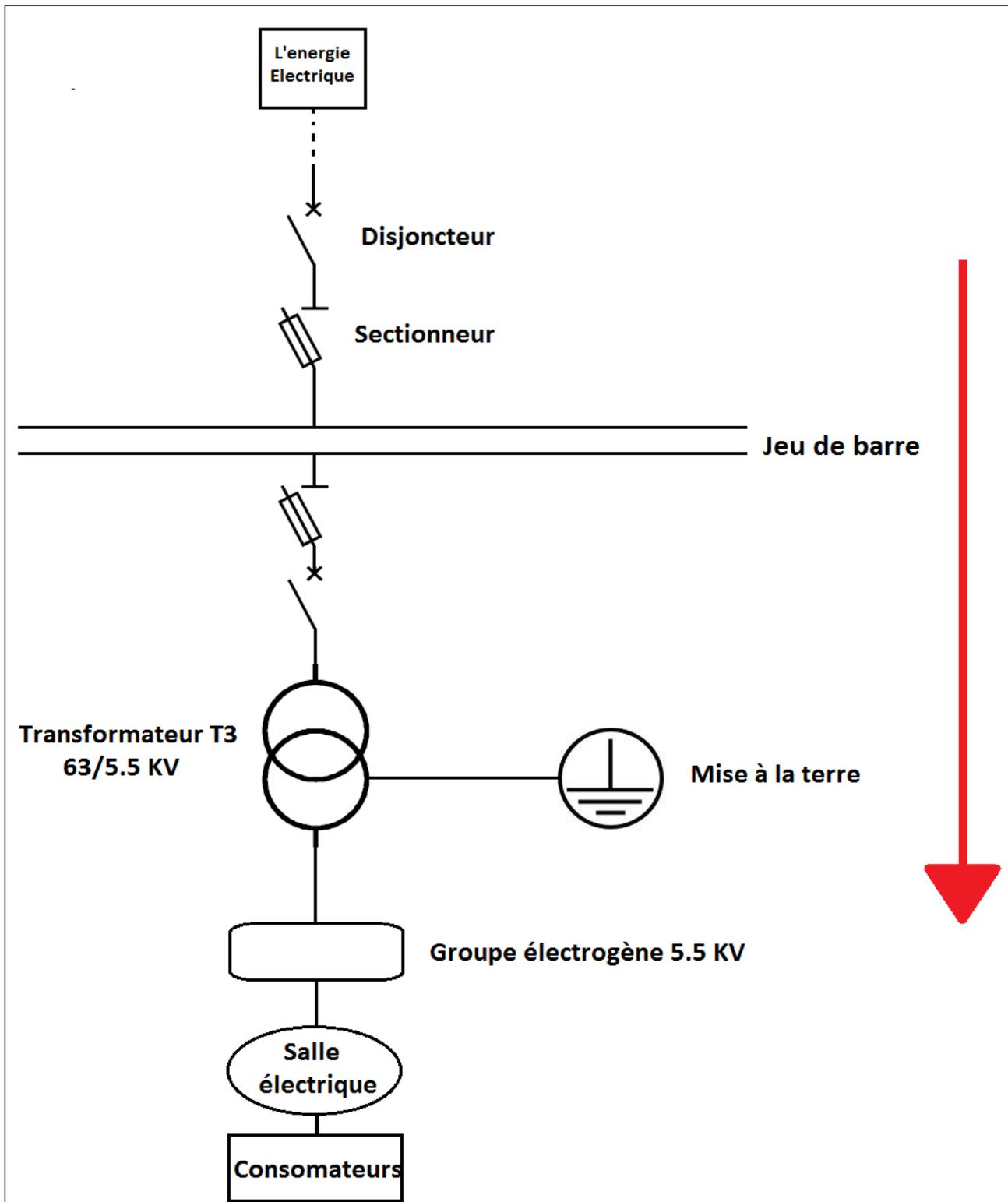


Figure 4.3 Analyse fonctionnelle de l'installation électrique

Tableau 4.6 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Sectionneur tripolaire	Ouvre et ferme le circuit (trois phases)	Ne s'ouvre pas	Blocage Mécanique	Manque de protection en cas de changement de fusible Le circuit n'alimente pas en cas de blocage ouvert	Lors du manœuvre	2	4	2	16	Maintenance périodique	1	4	2	8
		Ne ferme pas	L'arc électrique	Coupure électricité Explosion lors de changement du fusible Libération de vapeurs toxiques de cuivre et d'acier (fusion de l'installation électrique)		3	4	2	24	Maintenance Périodique Changement de fusible	2	3	2	1 2

Tableau 4.7 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Jeu de barres	Branche les lignes entreeux	Défaillance structurelle (rupture)	Mécanique Magnétique	Sur échauffement	Détecteur de température	3	3	2	18	Maintenance Et vérification périodique	2	3	2	12
		Dilatation	Mauvaise cirage Vibration Echauffement Refroidissement	Coupure électricité		3	3	3	27	Maintenance Et vérification périodique	2	2	3	1 2

Tableau 4.8 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

						Indice nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Transformateur T3 63/5.5 KV	Il abaisse la tension d'alimentation	Sur échauffement	Court circuit	Explosion	d' éclateurs	3	5	3	45	Maintenance des réfrigérants	2	4	2	16
		Bobinage grillé	Surintensité	Incendie		3	4	3	36	Changement périodique d'huile Vérification des fuites	2	2	3	12

Tableau 4.9 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Transformateur T3 63/5.5 KV	Il abaisse la tension d'alimentation	Dégradation des isolants	Sur tension Echauffement	Défaillance électrique	Détecteur de fumée	3	4	2	24	Vérification de la peinture du transformateur	2	3	2	12
		Déplacement enroulement	Court circuit	entrave la circulation d'huile		2	4	2	16	Changement périodique d'huile	2	2	2	8

Tableau 4.10 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection		G	D	C		F	G	D	C
Mise à la terre	Absorption descharges statiques vers la terre	Rupture du câble	Choc mécanique	Incendie	Visuel ou par appareil de détection	2	4	2	1	1	3	2	6	
			Mauvais serrage						6					
			Absence de contrôle											
			Mauvais contact	Explosion										

Tableau 4.11 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Groupe électrogène (5.5 KV)	L'alimentation électrique du poste	Fusible ne fonctionne pas	Erreur humaine	Incendie Effet thermique	Détecteur de fumée	2	4	2	16	Changement de fusible La bonne formation du personnel	2	2	2	8

Tableau 4.12 Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Salle électrique	Contrôle du poste électrique	Défaut d'isolement	Détérioration de la protection des câbles	Incendie	Détecteur de fumée / température	2	4	3	2 4	Coupe feu mise en place Vérification périodique	2	2	3	1 2
		Echauffement des appareils de contrôle	Surcharge	Incendie		2	3	3	1 8	Respecter les normes de conception de l'installation Assurer une périodicité d'entretien et de renouvellement	1	2	3	6

Résultats d'application de L'AMDEC :

Avant l'application :

Elément	Mode de défaillance	Criticité
Sectionneur tripolaire	Ne s'ouvre pas	16
	Ne ferme pas	24
Disjoncteur	Pas de déclenchement	36
Jeu de barres	Défaillance structurelle (rupture)	18
	Dilatation	27
Transformateur	Sur échauffement	45
	Bobinage grillé	36
	Dégradation des isolants	24
	Déplacement enroulement	16
Mise à la terre	Rupture du câble	16
Groupe électrogène	Fusible ne fonctionne pas	16
Salle électrique	Défaut d'isolement	24
	Echauffement des appareils de contrôle	18

	Risque acceptable sous contrôle
	Risque Indésirable
	Risque inacceptable

Tableau 4.13 Résultats avant l'application de l'AMDEC

Après l'application :*

Elément	Mode de défaillance	Criticité
Sectionneur tripolaire	Ne s'ouvre pas	8
	Ne ferme pas	12
Disjoncteur	Pas de déclenchement	16
Jeu de barres	Défaillance structurelle (rupture)	12
	Dilatation	12
Transformateur	Sur échauffement	16
	Bobinage grillé	12
	Dégradation des isolants	12
	Déplacement enroulement	8
Mise à la terre	Rupture du câble	6
Groupe électrogène	Fusible ne fonctionne pas	8
Salle électrique	Défaut d'isolement	12
	Echauffement des appareils de contrôle	6



Risque acceptable sous contrôle



Risque acceptable

Tableau 4.14 Résultats après l'application de l'AMDEC

Interprétation :

D'après l'analyse des risques du système étudié à l'aide de la méthode AMDEC on peut hiérarchiser les éléments étudiés selon leur criticité. On a choisi la valeur 16 comme seuil de criticité. Les éléments dont la criticité dépasse la valeur 16 c'est sur les éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des actions correctives appropriées.

D'après la criticité on peut distinguer les actions prioritaires pour diminuer les défaillances de ces éléments, tel que :

- Vérification de la liaison mise à la terre.
- Vérifier les disjoncteurs.
- Vérifier les niveaux d'huile des transformateurs.
- Vérifier l'assèchement du transformateur.
- Essayage périodique des sectionneurs.
- Test périodique des groupes électrogènes.
- Contrôle thermographique de température.
- Contrôle visuel.

Statistiques avant et après l'application de l'AMDEC :

- Avant l'application :

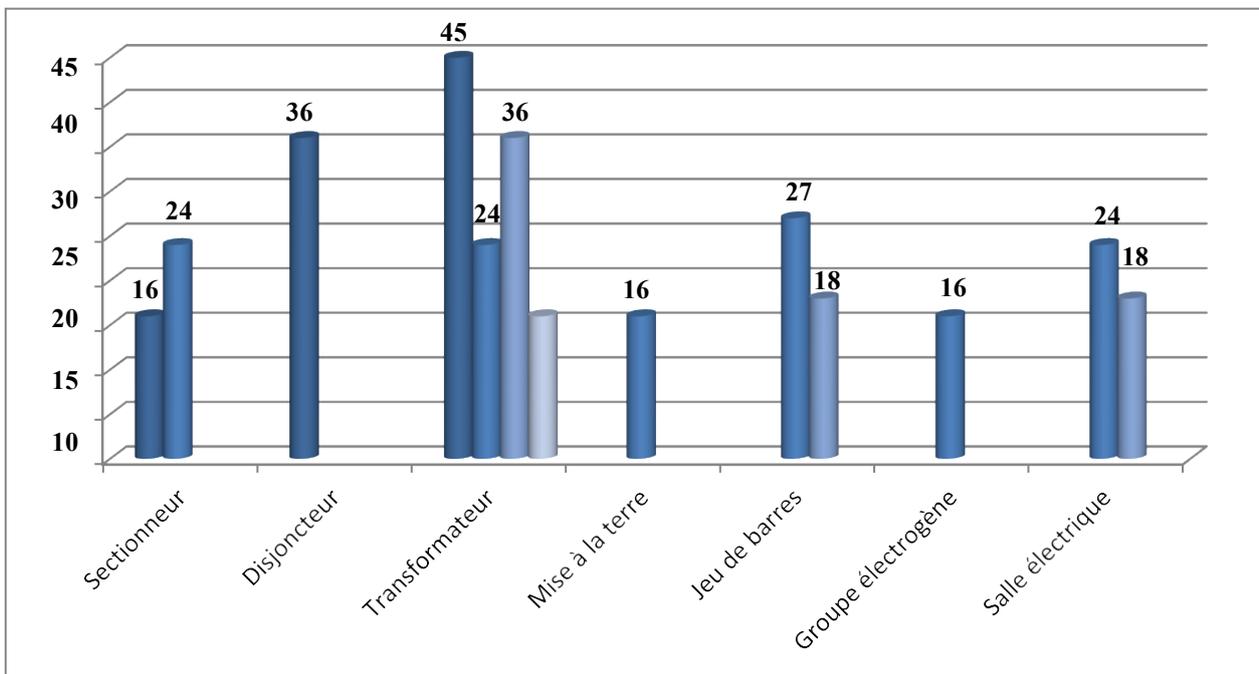


Figure 4.4 Histogramme des statistiques de la criticité avant l'application de l'AMDEC

- Après l'application :

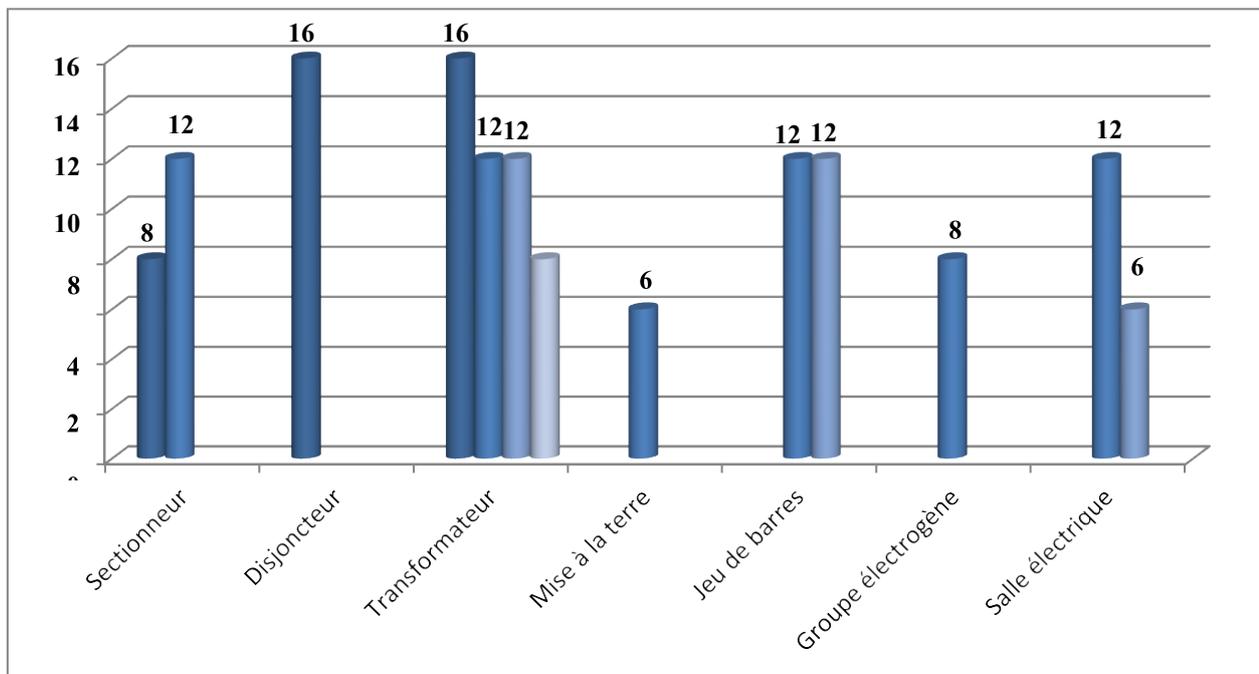


Figure 4.5 Histogramme des statistiques de la criticité après l'application de l'AMDEC

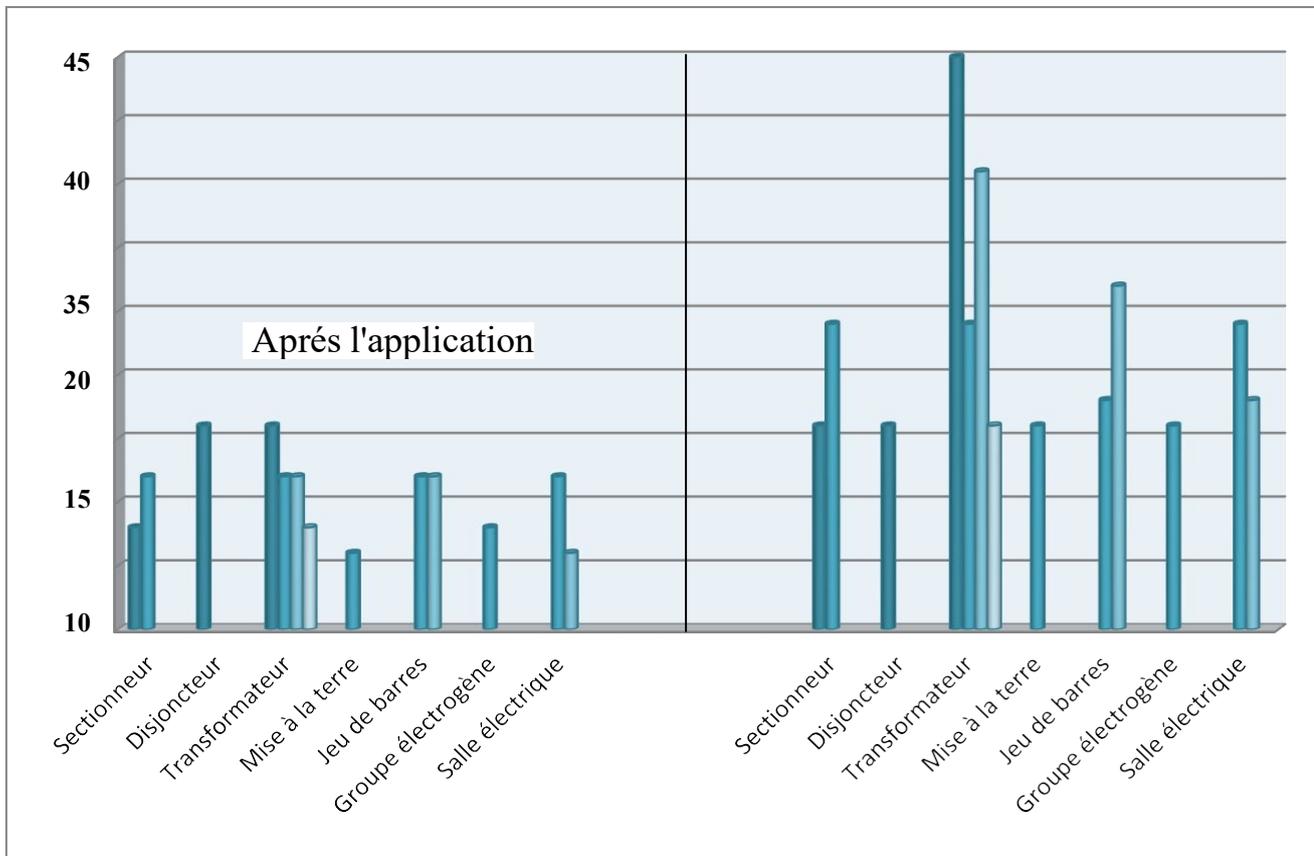


Figure 4.6 : Histogramme de comparaison de criticité avant et après l'application

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire, nous avons présentés l'état de l'art des tramways et leurs motorisations. Nous avons commencé par parler des risques électriques liés à une non mise en sécurité des installations électriques peuvent présenter de réels dangers pour la vie des personnes et des biens matériels, car une personne soumise à une tension électrique subit, selon l'importance de celle-ci, des effets plus ou moins graves pouvant aller jusqu'à la mort.

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.

La prévention de ces risques s'inscrit dans une démarche globale prévention fondée sur la capacité à :

- Analyser les risques.
- Définir et mettre en œuvre des mesures de prévention adaptées.

L'ensemble des risques (d'origine électrique et autres risques discernables) doit être analysé dans le cadre des opérations effectuées sur des ouvrages ou des installations électriques ou dans l'environnement de ceux-ci. Après l'analyse globale des situations à risques par l'employeur, l'analyse sur site du risque électrique est réalisée par un chargé de travaux ou par un chargé d'interventions, mais aussi par tout exécutant afin que la tâche puisse être effectuée en sécurité.

On n'oublie pas que tout matériel électrique peut être dangereux s'il n'est pas utilisé correctement. Toujours installer, procéder à l'entretien et à la maintenance du groupe en respectant les instructions du présent manuel ou l'entretien et la maintenance ne doivent être effectués que par des ingénieurs qualifiés expérimentés qui sont familiarisés avec ces procédures et le matériel.

La prévention des risques électriques joue un rôle très important pour sauvegarder et garantir la sécurité des personnes, la continuité de service ou de production tout en minimisant l'influence des risques. Pour cette raison, on utilise les moyens adéquats et le personnel qualifié et habilité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Publication 479 de la CEI, Effets du courant électrique sur le corps humain.No 2002-123.
- [2] HOMBERGER, E., Les dangers de l'électricité, cahiers suisses de la sécurité detravail, caisse national suisse d'assurance en cas d'accidents, 1986.
- [3] Institut français du pétrole, 2005 ENSPM Formation industrie- IFP training. Electricité industrielle. PDF
- [4] Introduction au risque électrique, www.inrs.fr@INRS,2003
- [5]http://pamelard.electro.pagespersoorange.fr/fichier%20pdf/habilitation/Le_s%20risques%20electriques.pdf
- [6] Analyse d'accident d'origine électrique, www.inrs.fr@INRS,1993
- [7] <http://www.beswic.be/Equipement de protection collective et individuelle>
- [8] <http://www.inma.fr/Equipement de protection collective électrique>
- Subjective and objective risks <https://thismatter.com/money/insurance/risk.html>
 - Slovic, P Fischhoff, B. & Lichtenstein, S (1982c)
 - Slovic, P (2000) the perception of risk