REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle

ETUDE DE LA PRIVENTION CONTRE LES RISQUE ELECTRIQUE

Présenté par :

HENNICHE Salheddine

CHADOULI Mohamed amine

Proposé et Dirigé par

ABUDURA SALAM

Promotion 2019

Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, notre dieu qui a bien voulu nous donner la force pour effectuer le présent travail.

Nous voudrons exprimés notre sincère gratitude à notre encadreur

PROF ABU DHARRA SALAM

Pour leurs orientations et leurs conseils durant l'évolution de ce travail.

Et aussi nos remerciements s'adressent en particulière

A Tous les enseignants du département de génie de procédé

Nos gratitudes à tous les membres de jury qui font l'honneur de juger notre travail.

ET A tous ceux qui nous ont aidés et encouragés de près ou de loin.

« On leurs dit merci de tous notre cœur »

Sommaire

Introduction générale…… ……. 1

Chapitre 1 : Analyse des accidents d'origine électrique

I.1 Introduction…… ……. 3
I.2 Définition du risque électrique…… ……. 3
I.3 Nature des accidents électriques…… ……. 4
I.4 Les effets du courant électrique…… ……. 4
I.4.1 Effets physiologiques…… ……. 5
I.4.2 Effets sur l'environnement…… ……. 9
I.5 Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain… …… 10
I.6 Les effets d'accidents électriques selon le domaine de tension …… 10
I.7 Analyse d'accidents d'origine électriques…… …… 11
I.7.1 Par contact direct…… …… 11
1I.7.2 Par contact indirect…… …… 13
I.7.3 Brûlure, incendie ou explosion d'origine électrique …… …… 15
I.8 Conclusion…… …… 17

Chapitre 2 : Méthodes d'analyse des risques

II.1 Introduction…… …… 18
II.2 Objectif des méthodes d'analyse des risques…… …… 18
II.3 Méthodologie de l'analyse des risques…… …… 19
II.4 Classification des méthodes d'analyse des risques…… …… 20
II.5 Différentes méthodes d'analyse des risques…… …… 22
II.6 Comparaison entre les méthodes d'analyse des risques…… …… 28
II.7 AMDEC…… …… 30
II.8 Conclusion…… …… 38

Chapitre 3 : Application de l'AMDEC, résultats et suggestions

III.1 Introduction…… …. 39
III.2.1 Présentation du poste T3 63/5.5 KV……. …. 40
III.2.2 Les risques liés au poste…… …. 41
III.3 Application de la méthode AMDEC…… …. 42
III.4 Résultats d'application de L'AMDEC…… …. 50
III.5 Statistiques avant et après l'application de l'AMDEC…….. …. 53
III.6 Choix des appareils de protection électrique…….. …. 55
III.6.2 Sectionneurs…….. …. 56
III.6.3 Interrupteurs……. …. 56
III.6.4 Disjoncteurs…… …. 57
III.6.5 Contacteurs…… …. 57
III.6.6 Coupe-circuits à fusibles…… …. 58
III.6.7 Relais de protection……. …. 58
III.7 Les moyens de protection contre les risques électriques…….. …. 60
III.7.1 Protection contre les contacts directs……. …. 60
III.7.2 Protection contre les contacts indirects……. …. 61
III.7.3 Protection contre les risques de brulures……. …. 62
III.7.4 Équipements individuels de protection et outillage de sécurité 62
III.7.5 Equipements de protection collective (EPC)…….. …. 67
III.7.6 Consignation électrique……. …. 67
III.8 Conclusion…….. …. 69
Conclusion général……. …. 70

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Effets des accidents électriques selon le domaine de tension…… 10
Tableau II.1 : comparaison entre les méthodes d'analyse des risques…….. 28
Tableau II.2 : Evaluation de la criticité…….. 34
Tableau II.3 : évaluation de la non-détection…….. 35
Tableau II.4 : Evaluation de la fréquence…… 36
Tableau II.5 : Evaluation de la gravité…… 37
Tableau III.1 : AMDEC (Sectionneur tripolaire)…….. 43
Tableau III.2 : AMDEC (Disjoncteur)…….. 44
Tableau III.3 : AMDEC (Jeu de barres)…….. 45
Tableau III.4 : AMDEC (Transformateur 63/5,5KV)…….. 46
Tableau III.5 : AMDEC (Transformateur 63/5,5KV)…….. 47
Tableau III.6 : AMDEC (Mise à la terre)…….. 48
Tableau III.7 : AMDEC (Groupe électrogène)…… 49
Tableau III.8 : AMDEC (Salle électrique)…….. 50
Tableau III.9 : Résultats avant l'application de l'AMDEC…….. 51
Tableau III.10 : Résultats après l'application de l'AMDEC…….. 52
Tableau III.11 : choix des appareils de protection électrique…….. 59

Liste des figures

Figure I.1 : Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain. 04
Figure I.2 : mécanisme d'électrisation…… 05
Figure I.3 : mécanisme d'accident avec contact direct…… 06
Figure I.4 : : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts directs…. 07
Figure I.5 : mécanisme d'accident avec contact indirect…… 07
Figure I.6 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts indirects… 08
Figure I.7 : Electrocution mortelle…… 08
Figure I.8 : Explosion d'origine électrique…… 09
Figure I.9 : Electrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant…… 12
Figure I.10 : travail sous tension dans un sous sol…… 13
Figure I.11 : Electrocution dans une filature…… 15
Figure II.1 : Processus d'analyse des risques…… 19
Figure II.2 : Typologie des méthodes d'analyse de risque…… 20
Figure II.3 : Processus de l'AMDEC…… 33
Figure III.1 : Transformateur T3 63/5.5 KV…… 40
Figure III.2 : Analyse fonctionnelle de l'installation électrique…… 42
Figure III.3 : Histogramme des statistiques avant l'application de l'AMDEC…. 53
Figure III.4 : Histogramme des statistiques après l'application de l'AMDEC….. 54
Figure III.5 : : Histogramme de comparaison de criticité…… 54
Figure III.6 : Sectionneur haute tension…… 56
Figure III.7 : Interrupteur haute tension…… 56
Figure III.8 : 9 Disjoncteur Haute tension…… 57
Figure III.9 : Contacteur haute tension…… 57
Figure III.10 : coupe-circuits à fusibles haute tension…… 58
Figure III.11 : Relais de protection…… 59
Figure III.12 : Protection par éloignement…… 60
Figure III.13 : Manchons et panneaux isolants sur câbles sous tension…… 61
Figure III.14 : Casque isolant…… 62
Figure III.15 : Lunette et visière anti UV…… 63
Figure III.16 : Les gants isolants…… 63
Figure III.17 : Chaussures à semelle isolante…… 64
Figure III.18 : Vêtement de protection isolant…… 64
Figure III.19 : Tapis et tabouret isolant…… 65
Figure III.20 : Perche isolante…… 65
Figure III.21 : Coffret électro secours…… 66
Figure III.22 : Vérificateur d'absence de tension (V.A.T)…… 66
Figure III.23 : Equipements de protection collective…… 67
Figure III.24 : Etapes d'une consignation électrique…… 68

Acronymes et abréviations

CU II : l'unité centrale utilité II

TF : taux de fréquence

TG : taux de gravité

TBT : très basse tension

BT : basse tension

HT : Haute tension

TBTS : Très basse tension de sécurité

TBTP : Très basse tension de protection

TP : Transformateur du potentiel

APR : Analyse préliminaire des risques

HAZOP : Hazard and operability study

AMDEC : analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

UV : ultraviolet

VAT : vérificateur d'absence de tension

TE : Travaux électriques

EPI : Équipement de protection individuelle

EPC : Équipement de protection collective

Résumé

Durant ces dernières décennies, Les risques industriels ont constitué un problème de maitrise de sécurité total, parmi ces risques on apprécie les risques électriques qui ont un facteur de gravité très important sur les travailleurs et le matériel dans l'industrie.

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.

Pour cela nous avons divisé notre étude en quatre parties comme suit :

La première partie qui est une étude sur l'analyse des accidents d'origine électrique (leurs causes, effets, conséquences et recommandations pour minimiser ces accidents).

La deuxieme partie recueille les différentes méthodes utilisées pour analyser les risques et améliorer la sécurité

La troisième partie contenue l'application la méthode AMDEC, les résultats et les suggestions et les démarches préventives pour la réduction des risques d'origine électrique.

LES MOTS CLE : amedc ; risque éléctrique ;deffaillance ;epi

Abstract

In recent decades, industrial risks have been a problem of total safety control, among these risks we appreciates the electrical risks which have a very serious factor of gravity on the workers and the material in the industry.

The aim of this work was to make the people concerned aware of the risks and their effects and to analyze the means, methods and attitudes to be acquired to avoid risks of electrical origin and best means of prevention.

the risk analysis enabled us to identify the risk zones, in the central unit CU II.

For this we divided our study into four parts as follows:

The second part is a study on the analysis of accidents of electrical origin (their causes, effects, consequences and recommendations to minimize these accidents).

The third part collects the different methods used to analyze risks and improve safety.

The fourth part contains the application of the AMDEC method, results and suggestions and preventive approaches for the reduction of electrical hazards.

KEY WORDS : safety control ; statistic ; risks of electrical

ملخص

خلال العقود الأخيرة، كانت المخاطر الصناعية مشكلة السيطرة الكاملة على السلامة، ومن بين هذه المخاطر تظهر المخاطر الكهربائية التي تعتبر عامل خطير جدا على العمال والوسائل في الميدان الصناعي.

الهدف من هذا العمل هو توعية الناس المعنيين بالمخاطر، وآثارها وتحليل الوسائل والأساليب والمواقف التي ينبغي اكتسابها لتجنب المخاطر ذات المنشأ الكهربائي وأفضل وسائل الوقاية منها.

أما الجزء الثاني فهو دراسة حول تحليل الحوادث ذات المنشأ الكهربائي (أسبابها وآثارها وعواقبها والتوصيات اللازمة للحد من هذه الحوادث).

ويجمع الجزء الثالث الطرق المختلفة المستخدمة لتحليل المخاطر وتحسين السلامة والأمن .

يحتوي الجزء الرابع على تطبيق طريقة (أمديك) ، والنتائج والاقتراحات والنهج الوقائية للحد من المخاطر الكهربائية .

كلمات مفتاحية : منشأ كهربائي. تحليل. الوقاية. المخاطر

1.1 Introduction :

L'électricité ne se voit pas, ne s'entend pas, n'a pas d'odeur mais entraine 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.

1.2 Définition du risque électrique :

Le risque électrique peut causer des lésions ou la mort par le choc électrique ou une brulure 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, dues à l'effet de surprise provoqué par ces chocs électriques.[1]

1.3 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..)

1.4 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.

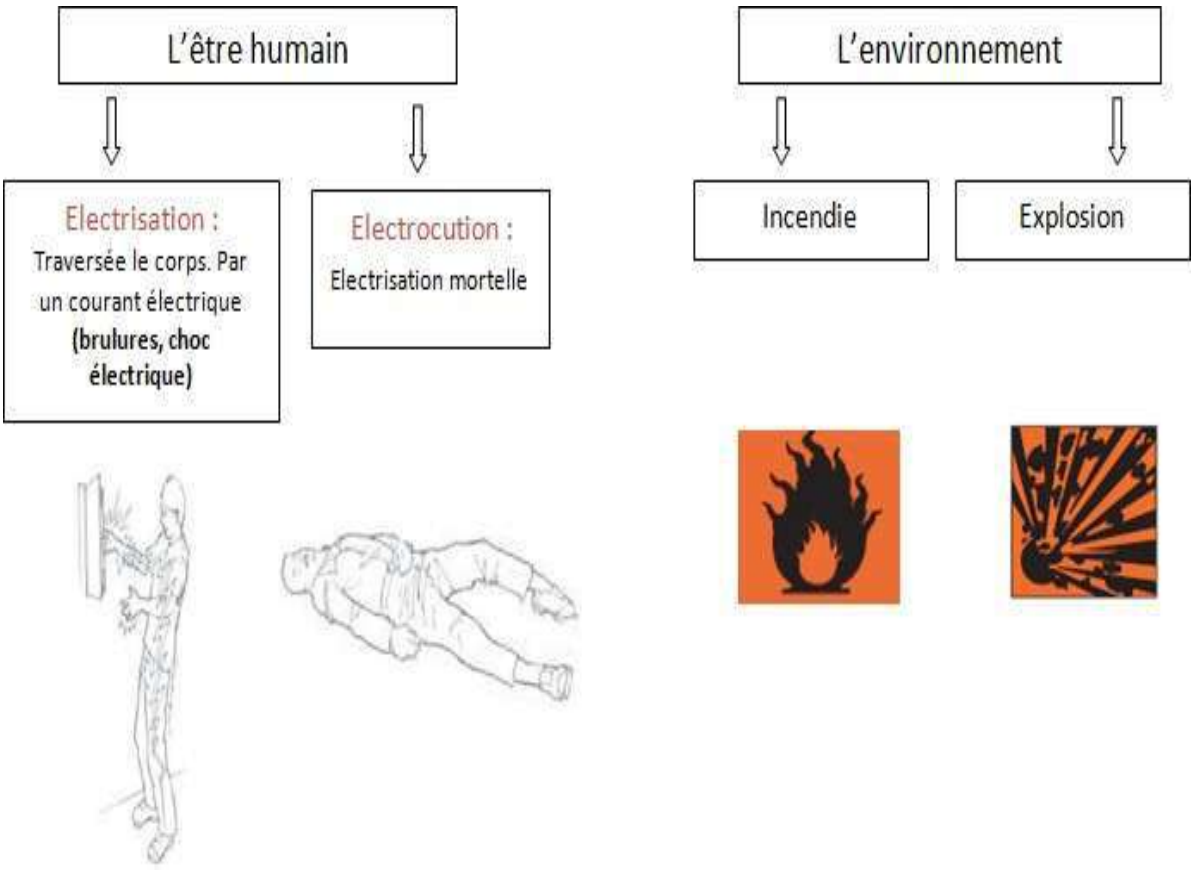


Figure 1.1 : Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain

1.4.1 Effets physiologiques :

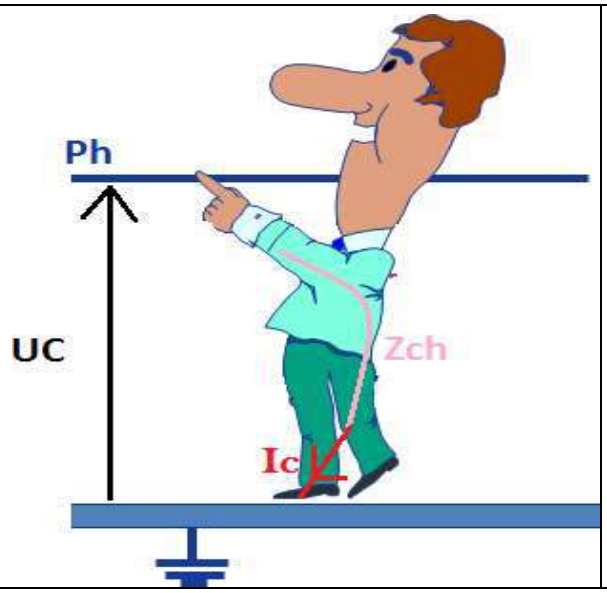
Effets du courant électrique sur le fonctionnement de l'organisme sont :

a- 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 Uc (tension de contact) il est traversé par un courant le qui dépend de l'impédance Zch 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).



Impédance du corps humain :

Zch = Zp + Zi

Zp : Impédance de la peau Zi : Impédance interne ≈ 500 Ω

Pour les locaux secs :

Zch : 2000 Ω contact main/main

Zch : 5000 Ω Contact main/ pied

Pour les locaux humides :

Zch : 1000 contact main/main

Zch : 2500 contact main/pied

Figure 1.2 : mécanisme d'électrisation

La gravité de l'électrisation dépend de plusieurs facteurs :

- l'intensité du courant (A)
- la tension du courant
- le type de courant : alternatif ou continu
- la durée du passage de l'électricité dans le corps
- la superficie de la zone de contact avec la source électrique
- la trajectoire du courant
- l'état de la peau : normale ou calleuse, sèche ou humide (l'humidité est un facteur aggravant)
- la nature du sol (matériau isolant ou conducteur)[2]

Types de contact :

- **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.

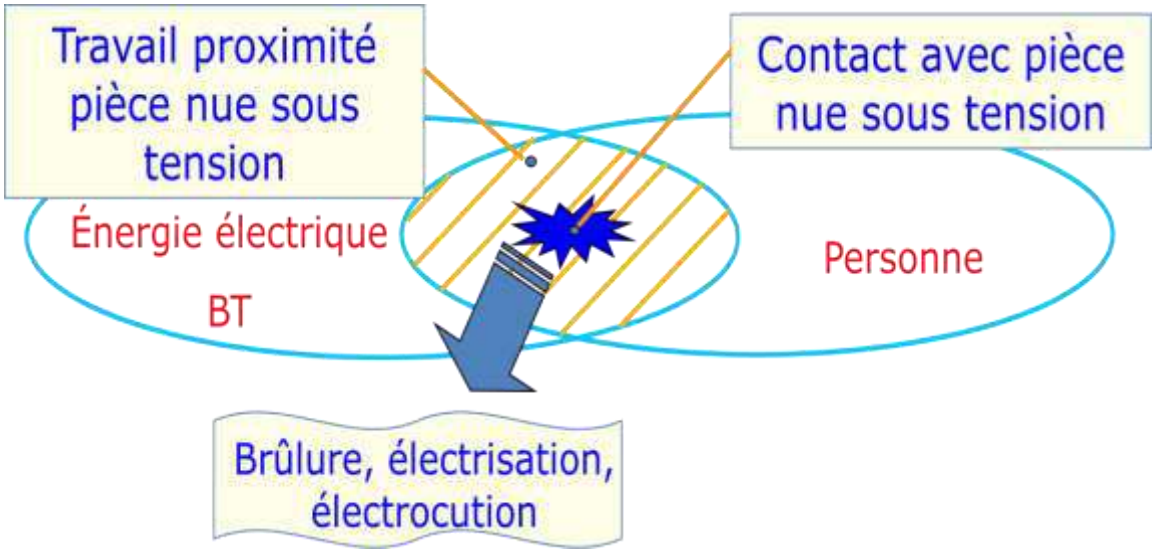
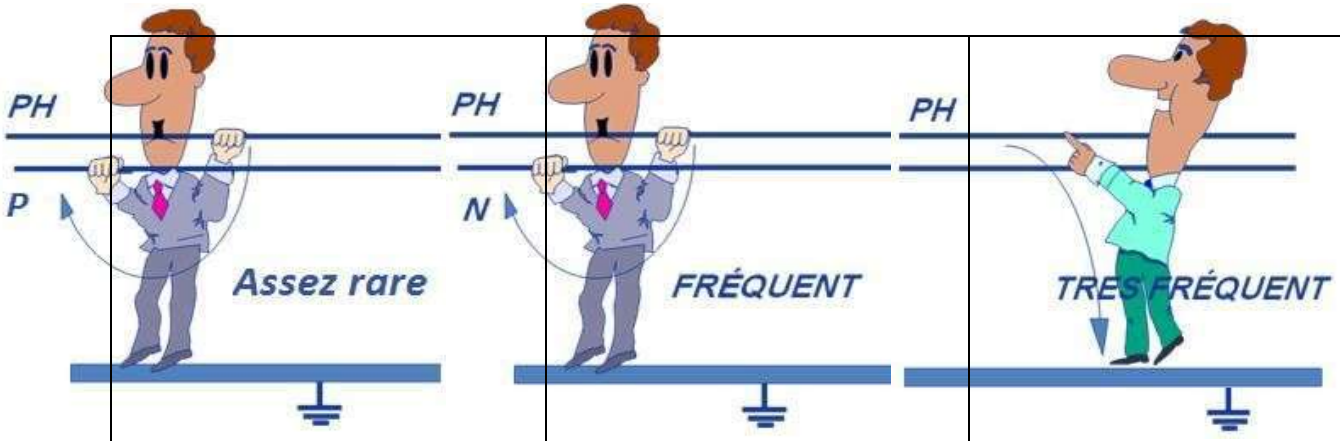


Figure 1.3 : mécanisme d'accident avec contact direct



Contact entre deux phases	Contact une entre phase et neutre	Contact entre une phase et la terre

Figure 1.4 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts directs

- **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.

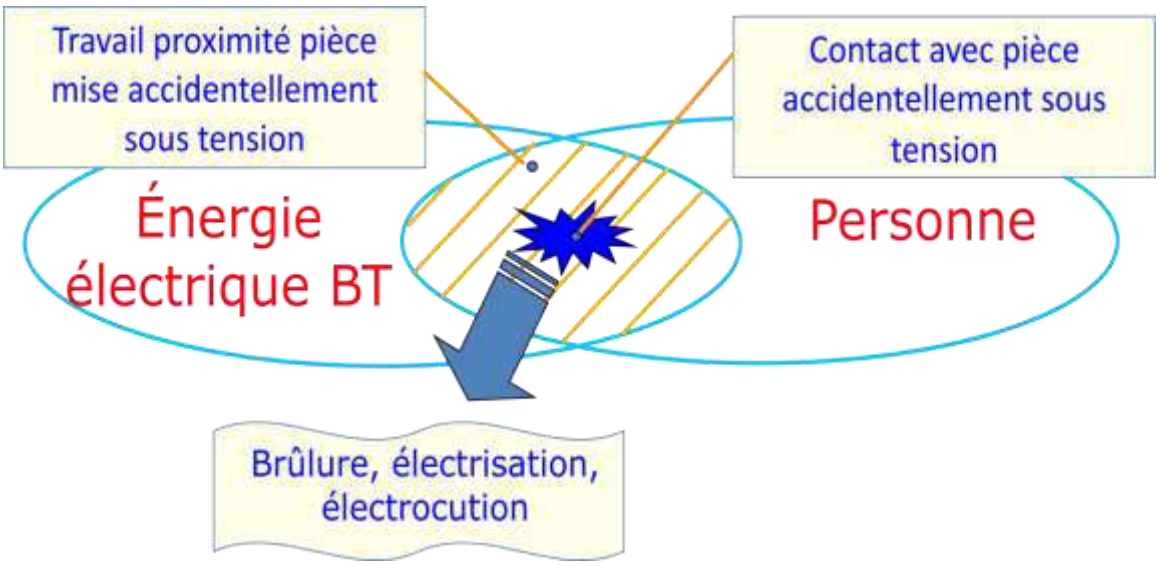
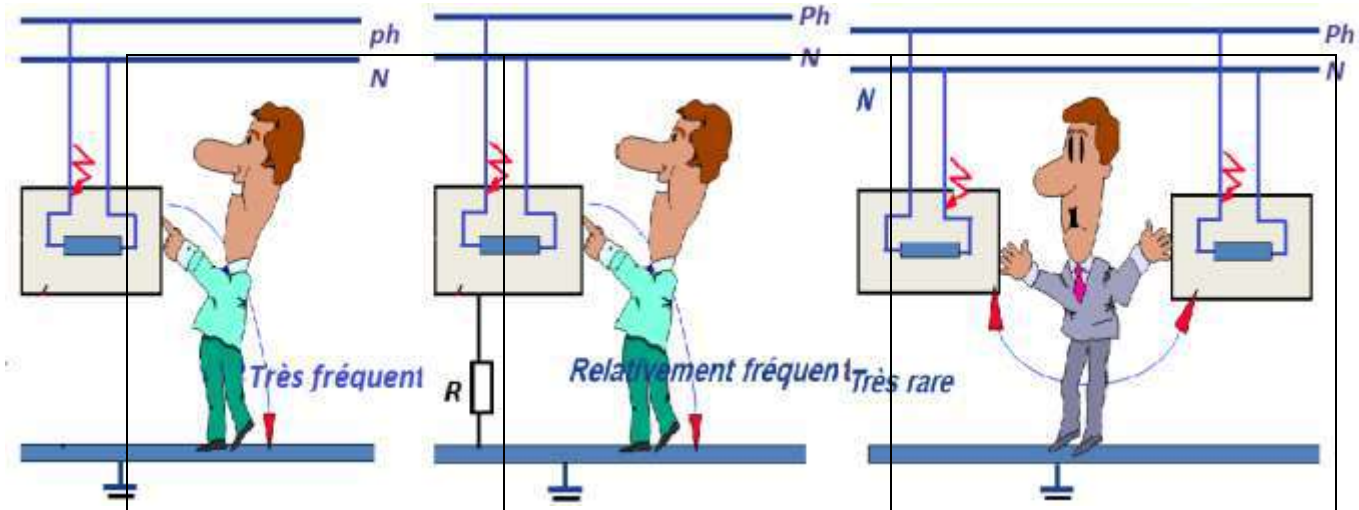


Figure 1.5 : mécanisme d'accident avec contact indirect



Contact entre masse sous tension et la terre	Contact entre masse sous tension dont la résistance est élevée à la terre	Contact entre deux masses sous tension

Figure 1.6 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts indirects

b- L'électrocution :

C un terme qui désigne une électrisation immédiatement mortelle



Figure1.7 Electrocution mortelle

1.4.2 Effets sur l'environnement :

a- 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.

b- 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 1.8 Explosion d'origine électrique

1.5 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 **brulures par arc** : dermiques, oculaires (coup d'arc), électrothermiques profondes, thromboses, œdèmes, nécroses, etc.... [3]

1.6 Les effets d'accidents électriques selon le domaine de tension :

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

Tableau 1.1 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. [4]

1.7 Analyse d'accidents d'origine électriques :

1.7.1 Par contact direct :

❖ **Électrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant :**

❖ **Scénario de l'accident :**

Un ouvrier électricien, chargé de remplacer un diabolo 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 / √3 = 230 V.



Figure 1.9 : Electrocution 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.

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.



Figure 1.10 : 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.

1.7.2 Par contact indirect :

- **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 ça et là aux parois et de douilles métalliques à bout de fil.
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.

❖ **Electrocution 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
- Isolation des conducteurs d'alimentation défectueuse.

Conséquence de l'accident :

Electrocution mortelle

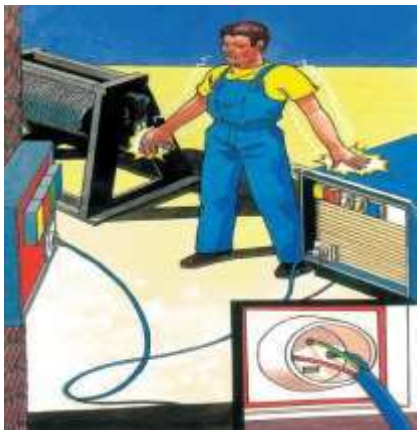


Figure 1.11 : Electrocution dans une filature

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.

1.7.3 Brûlure, incendie ou explosion d'origine électrique :

❖ **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.[5]

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)

❖ **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.[5]

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.Lesectionneurgénéral, risquant d'être ouvert en charge, aurait dû, sort être équipé de contacts de pré-coupure, soit ne pas pouvoir être manœuvré de l'extérieur de l'armoire.

1.8 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 défectuosité 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...

2.1 Introduction :

Durant ces dernières décennies, le monde a connu un accroissement technologique qui a modifié profondément les exigences en termes de sûreté de fonctionnement des systèmes qui sont devenus de plus en plus complexes. Les systèmes industriels ont connu une augmentation notable du nombre des accidents majeurs et des catastrophes telles que les incendies et les explosions occasionnant des impacts et des effets graves sur les personnes, les biens et l'environnement. Pour cela, des efforts considérables sont fournis pour maîtriser la sécurité des installations industrielles. La maîtrise de ces phénomènes est obtenue grâce à des méthodes d'analyse appelées méthodes d'analyse des risques.

Au cours de ces dernières années, plusieurs techniques et modèles mathématiques de prévision des risques ont été développés. Citons à titre d'exemple, (HAZOP, AMDEC, Arbre des Causes, Arbre des Evénements…) et des modèles mathématiques des effets et de vulnérabilité. Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes méthodes d'analyse des risques utilisées couramment, leurs domaines d'applications, leurs avantages et leurs inconvénients.

2.2 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.

2.3 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 :

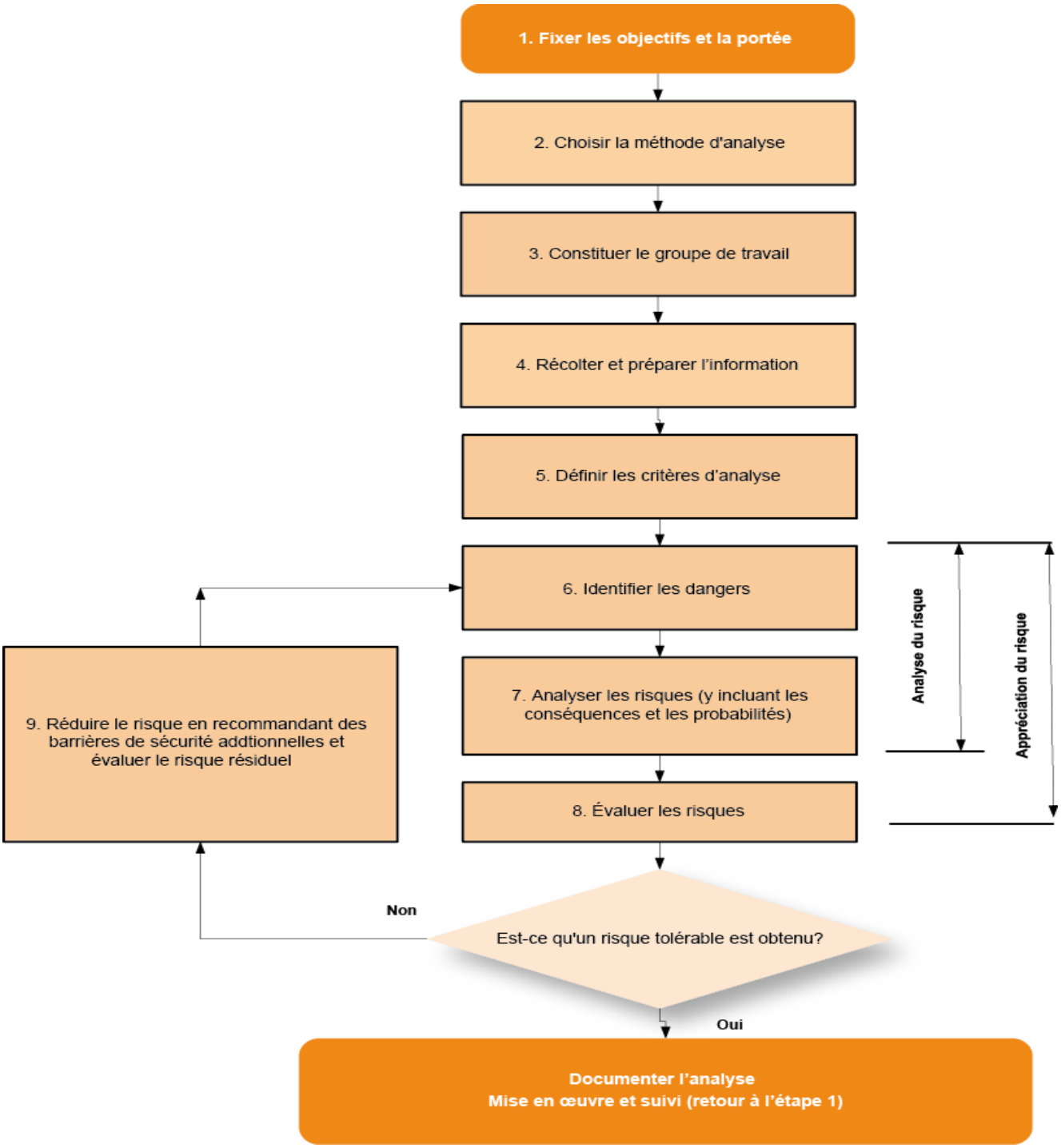


Figure 2.1 : processus d'analyse des risques

2..4 Classification des méthodes d'analyse des risques :

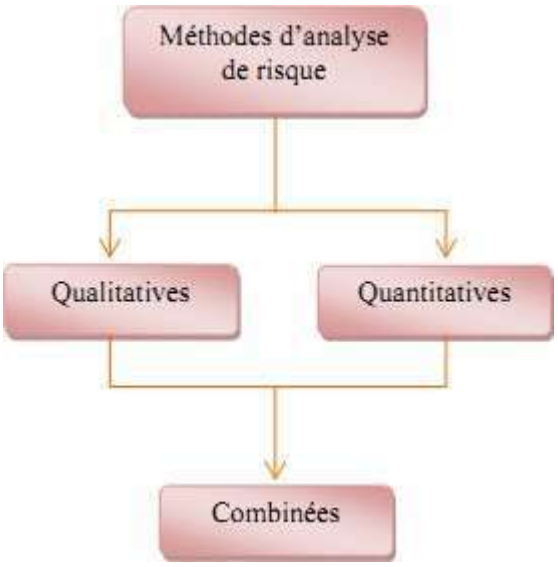


Figure 2.2 : Typologie des méthodes d'analyse de risque

a- 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 .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.)

b- 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… [6]

2.5 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.

1- Analyse préliminaire des risques : (APR)

Objectif :

- Prendre en compte le facteur sécurité dès la phase recherche et conception d'une installation
- Envisager
- 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")

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.

Limites :

- Ne détecte que les risques "évidents"
- Ne permet pas d'identifier les risques liés à la complexité des systèmes

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, ...) **à jour.**
- 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 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.

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.

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 .

Limites :

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

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.
  - Modificatio 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

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.

5- Arbre des événements (event tree) :

Méthode appelée aussi arbre des conséquences.

Objectifs :

- A partir d'un événement indésirable, rechercher les scénarios possibl
- 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.

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.[6]

2.6 Comparaison entre les méthodes d'analyse des risques :

Méthode	Avantages	Inconvénients	Durée Type	
			Installation "simple"	Installation "complexe"
APR	- Méthodique/facile - Bien adapté aux procédés discontinus, aux risques mal connus, aux Installations peu étudiées	- Pas exhaustive (risque d'oubli) - Caractère préliminaire (détail du procédé non couvert) - Ne traite pas les Interactions	Quelques jours	Quelques semaines
HAZOP	- Adaptée à des procédés continus - Systématique - Utilisable pour gérer les modifications - Transposable à un système de pensée	- Lourd - Divergence facile - Ne permet pas la représentation des combinaisons d'événements ou leur enchaînement	4 heures -1 semaine (=3 jours par PI D)	1 semaine - 6 semaines

"WHAT IF.	- Simple - Adaptée aux études préliminaires - Utilisable en exploitation courante	- 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	- 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)	- Ne traite pas les Interactions, défaillances multiples, combinaisons d'événements - Méthode Inadaptée pour systèmes très Informatisés	2jours – 1 semaine	1 semaine à 2 semaines
Arbre de défaillances **Arbre des événements**	- Groupe de spécialistes - Gère bien les Interactions entre systèmes (probabilité de défaillance globale) - Évaluation aisée des améliorations	- 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 dévaluation : 40**%** du temps - La phase de documentation : 40 **%** du temps				

Tableau 2.1 : comparaison entres les méthodes d'analyse des risques

2.7 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 aimées soixante- dix. la méthode frit 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

Types de L'AMDEC :

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

❖ 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.

❖ 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.

❖ 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.

❖ 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.

❖ 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.

❖ L'AMDEC sécurité :

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

Les aspects de la méthode :

❖ 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.

❖ 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.

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.

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).
- Définir les actions correctives.

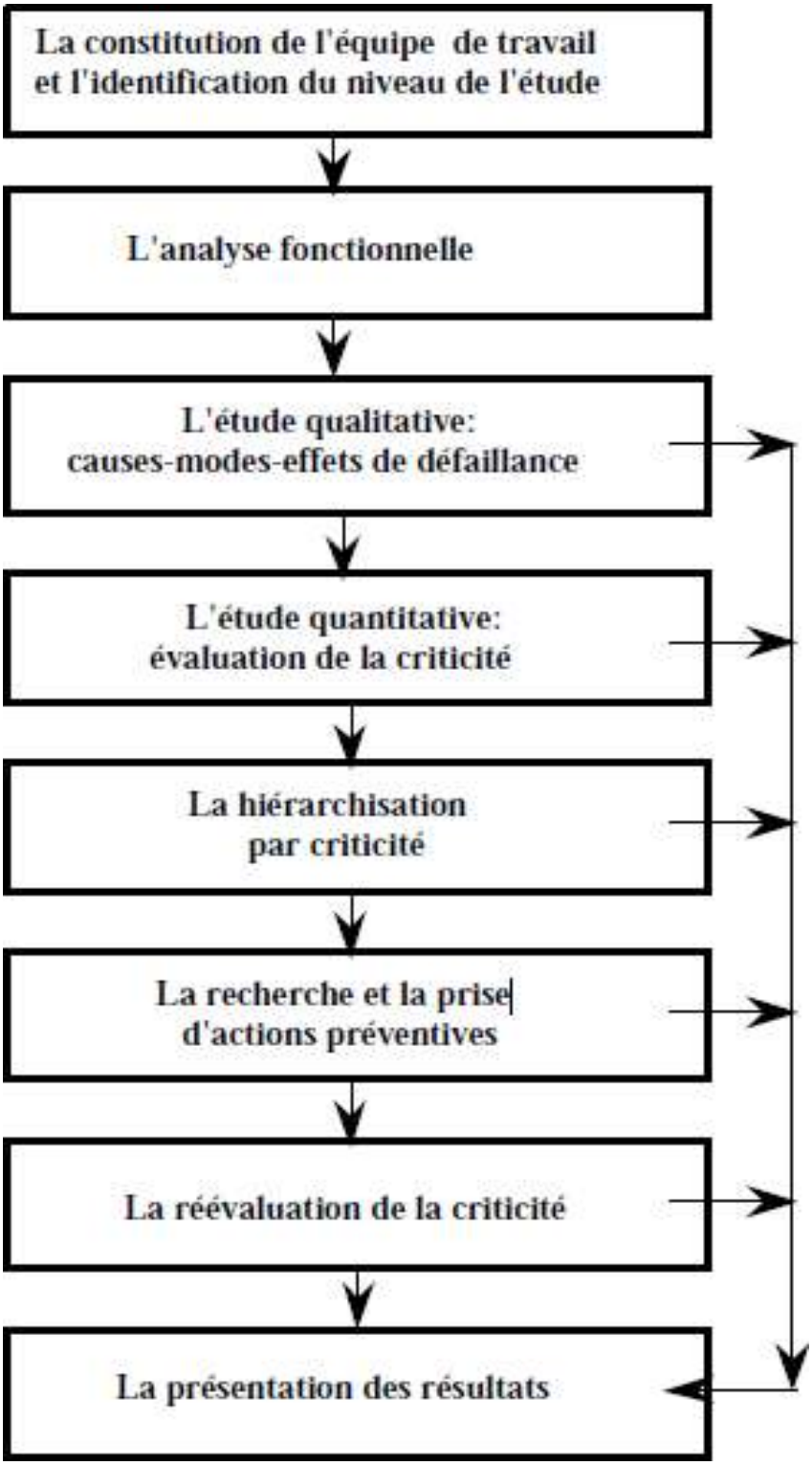


Figure 2.3 : Processus de l'AMDEC

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

		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 2.2 : Evaluation de la criticité

L'indice de non-détectabilité (Probabilité) :

Rien n'est pire qu'une défaillance inopinée : on n'a pas pu anticiper, s'organise; 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 2.3 : évaluation de la non-détection

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	occasionnel	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 2.4 : Evaluation de la fréquence

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. [6]

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 3.5 : Evaluation de la gravité

2.8 Conclusion :

Les méthodes d'analyse fonctionnelle sont indispensables pour réaliser une décomposition fonctionnelle et matérielle d'une installation industrielle en cours de conception ou en fonctionnement, et cette étape facilite la mise en application des méthodes d'analyse prévisionnelle qui permettent d'identifier les causes et les conséquences potentielles d'un événement et de mettre en lumière les barrières de sécurité qui peuvent être envisagé pour garde les bon fonctionnement des installation.

Il n'existe pas de bonne ou de mauvaise méthode, chacune possède des avantages et des inconvénients qui lui sont propres, une méthode particulière est donc généralement plus ou moins adaptée au contexte de l'installation étudiée et aux objectifs recherchés.

En plus il n'existe pas de règle claire et nette justifiant pour chaque cas particulier, en fonction de critères clairs, une méthode plutôt qu'une autre.

Pour cela nous avons choisi la méthode AMDEC pour faire son application sur notre d'étude.

3.1Introduction :

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 risque associés. Pour assurer la sécurité des personnes et des installations, il est nécessaire que ces matériels répondent à des règles strictes et éprouvées.

3.2.1 Présentation du poste T_3 63/5.5 KV :

Le poste T_3 63/5.5 KV est une installation électrique recordée 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 3.1 Transformateur T3 63/5.5 KV

3.2.2 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 , entouré par de bureaux administratifs et des ateliers ainsi des routes d'accès ou la distance entre le poste et son voisinage ne repondent 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, sa construction était dans les années 1980, ne répond pas aux normes actuelles et aux exigences de sécurité).

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.

3.3 Application de la méthode AMDEC :

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

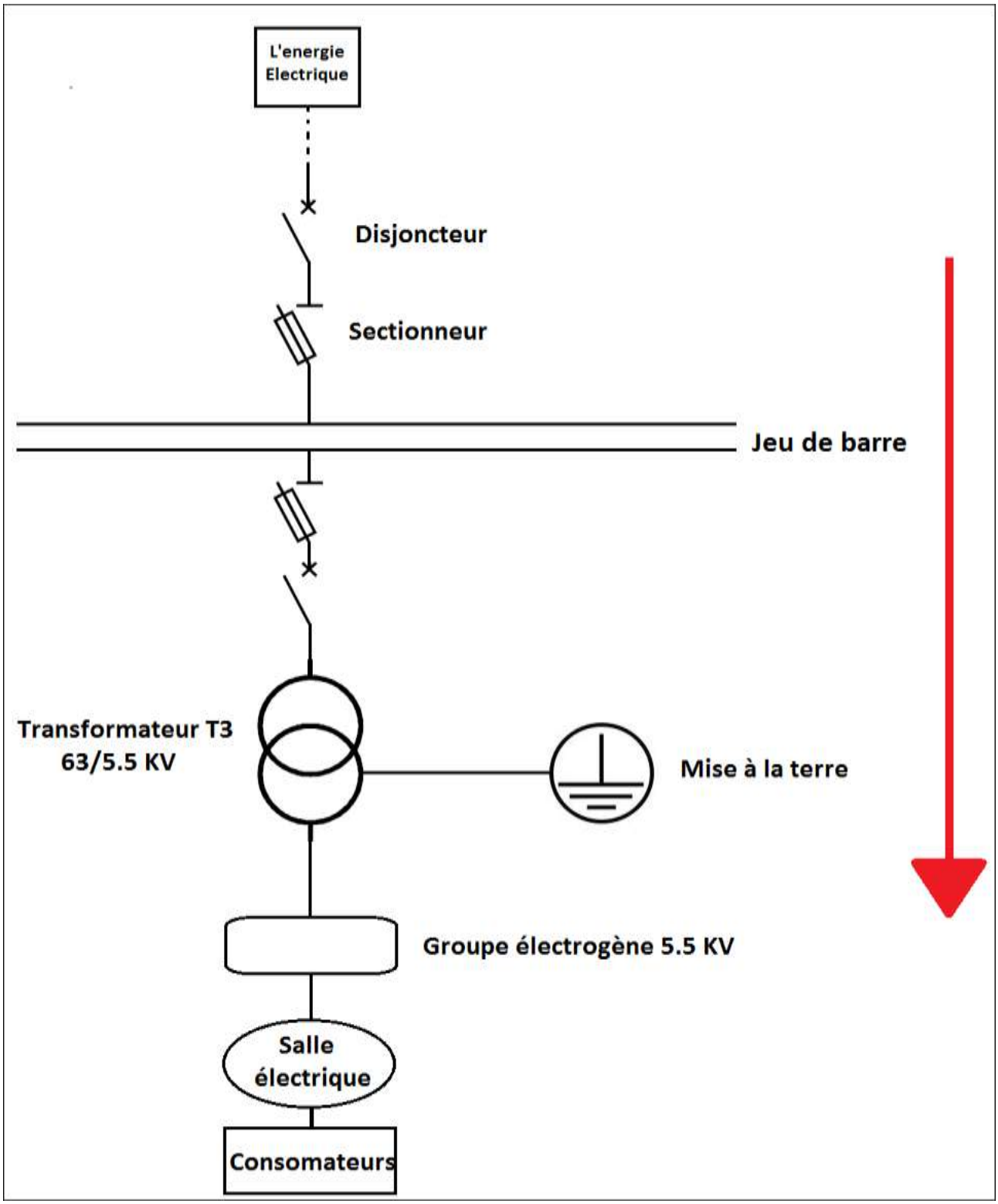


Figure 3.2 Analyse fonctionnelle de l'installation électrique

Tableau 3.1 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	12

Tableau 3.2 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
Disjoncteur	Protéger le transformateur des surintensités et des surtensions	Pas de déclenchement	Cause mécanique Cause magnétique Perturbation d'huile	Ne déclenche pas en cas de court-circuit Pas de projection de système incendie Coupure de l'électricité	Détecteur de température	3	3	4	36	Programme d'entretien préventif standard	2	2	4	16

Tableau 3.3 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 entre eux	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	12

Tableau 3.4 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	Sur échauffement	Court circuit	Explosion	Détecteur de fumée	3	5	3	45	Maintenance des réfrigérants	2	4	2	16
		Bobinage grillé	Surintensité Surtension	Incendie		3	4	3	36	Changement périodique d'huile Vérification des fuites	2	2	3	12

Tableau 3.5 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	Surtension 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 3.6 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
Mise à la terre	Absorption des charges statiques vers la terre	Rupture du câble	Choc mécanique Mauvais serrage Absence de contrôle Mauvais contact	Incendie Explosion	Visuel ou par appareil de détection	2	4	2	16	Vérification périodique de la liaison de la mise à la terre	1	3	2	6

Tableau 3.7 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
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 3.8 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	24	Coupe feu mise en place Vérification périodique	2	2	3	12
		Echauffement Des appareils de contrôle	Surcharge	Incendie		2	3	3	18	Respecter les normes de conception de l'installation Assurer une périodicité d'entretien et de renouvellement	1	2	3	6

3.4 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 3.9 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 3.10 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 appropriés.

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.

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

- **Avant l'application :**

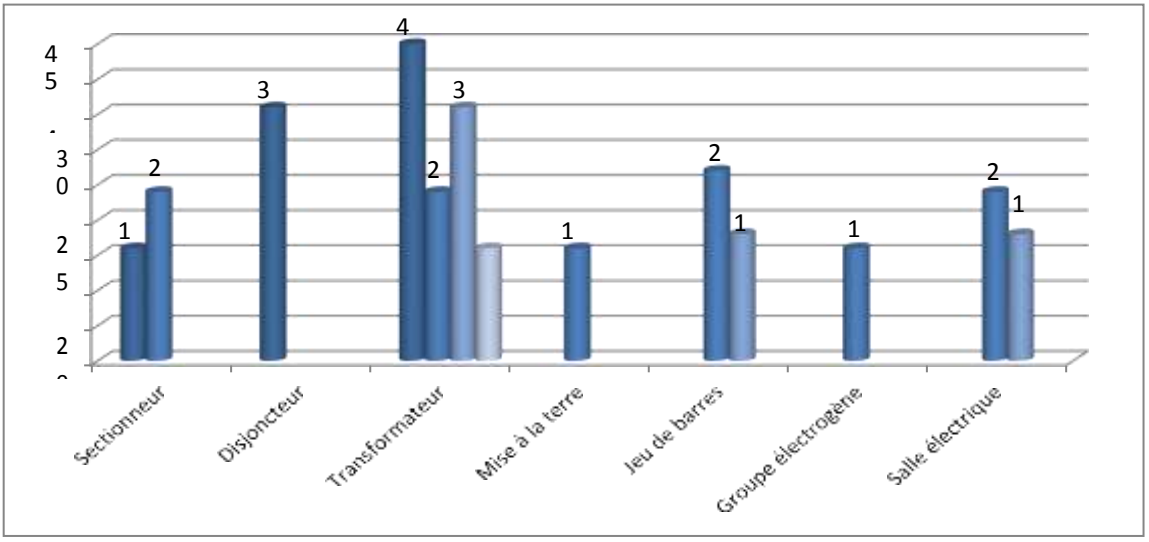


Figure 3.3 Histogramme des statistiques de la criticité avant l'application de l'AMDEC

- **Après l'application :**

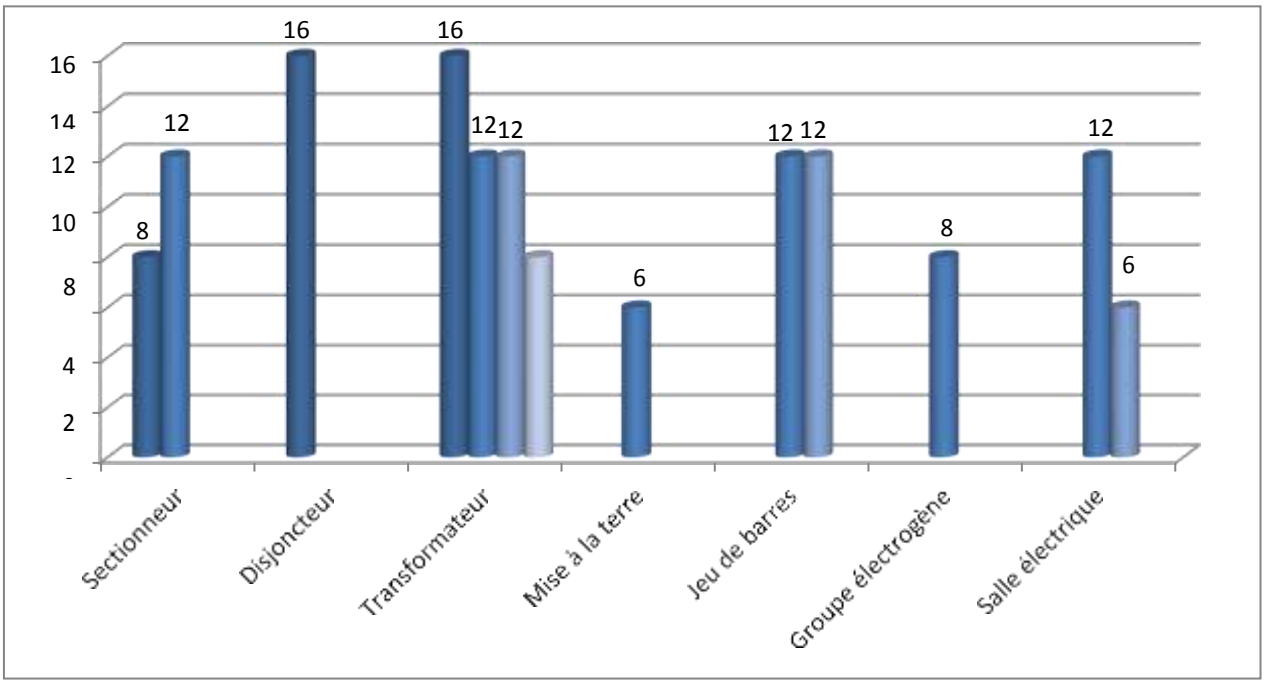


Figure 3.4 Histogramme des statistiques de la criticité après l'application de l'AMDEC

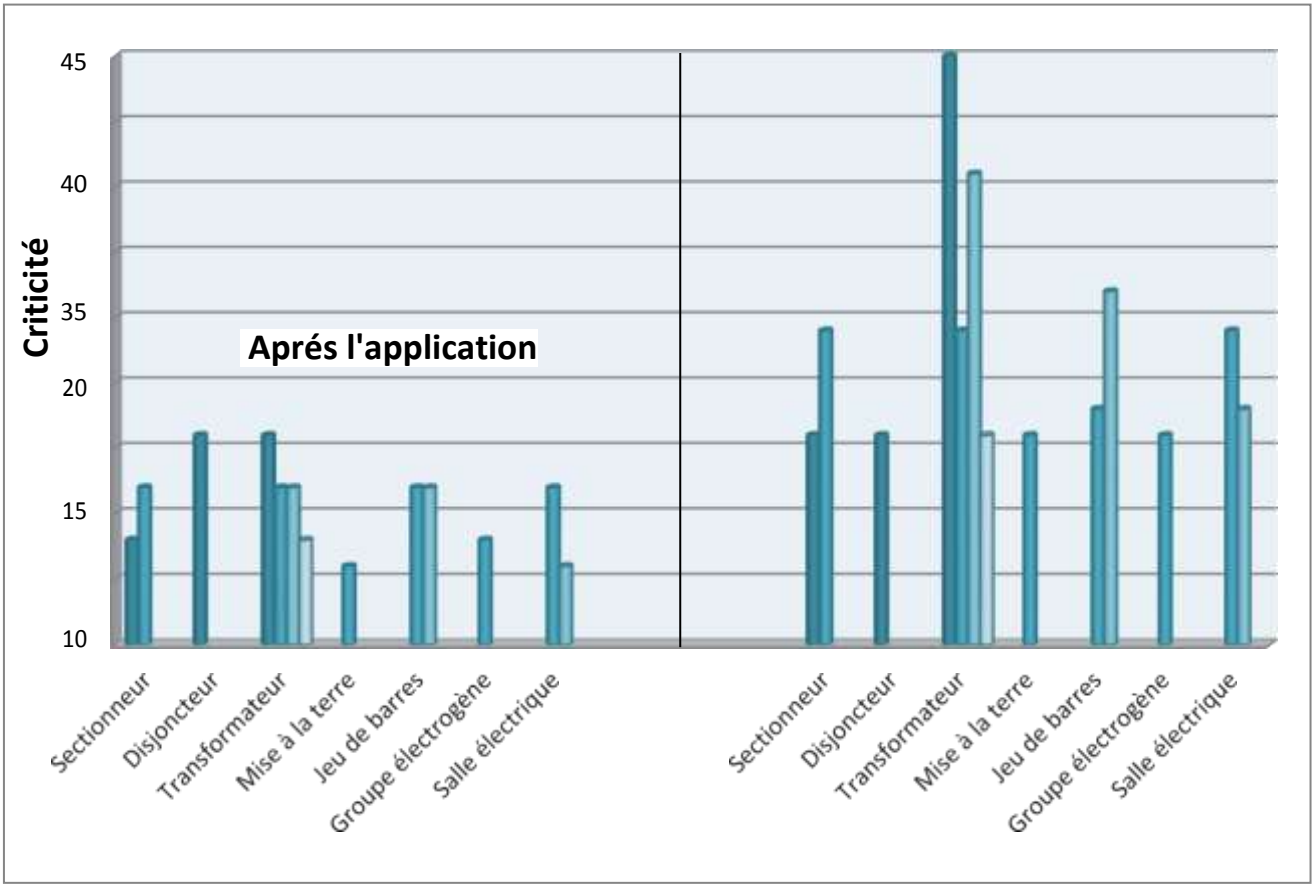


Figure 3.5 : Histogramme de comparaison de criticité avant et après l'application

3.6 Choix des appareils de protection électrique :

Les appareils de protection électrique sont les appareils destinés à établir ou Interrompre un circuit électrique. Le choix de ces appareils de protection se fait selon leurs fonctions :

- Fonction " isolement "
- Fonction " commande "1Introduction :
- Fonction " élimination de défaut "
- Fonction " surveillance "

❖ Fonction " isolement ":

Elle consiste à Isoler ou séparer des sources de courant un circuit à vide. C'est une fonction de sécurité qui a pour but de séparer du réseau une partie d'installation afin de pouvoir y travailler sans risque.

❖ Fonction " commande " :

Il s'agit d'une opération volontaire, manuelle ou automatique, consistant à fermer un circuit ou à l'ouvrir dans ses conditions normales de fonctionnement,

❖ Fonction " élimination de défaut " :

La fonction consiste à séparer des sources une portion de circuit en situation anormale, dont les conséquences peuvent être dangereuses pour le personnel ou le matériel. Cette fonction est aussi parfois Improprement appelée "protection". L'appareillage ne peut en effet protéger contre l'apparition d'un défaut mais doit Intervenir pour en limiter les répercussions sur les éléments du réseau restés sains.

❖ Fonction " surveillance " :

Cette fonction assure la surveillance des paramètres d'exploitation (tension,
courant, température, ...) pour provoquer une alarme ou une ouverture du circuit.

3.6.2 Sectionneurs :

Le sectionneur est avant tout un organe de sécurité réalisant la fonction **"isolement"**. Il peut avoir la fonction **"sélection"** d'un circuit (cas des sectionneurs d'aiguillage dans un système à deux jeux de barres par exemple)

Dans tous les cas, le sectionneur est un appareil dépourvu de pouvoir de coupure, c'est-à-dire qu'il doit être manœuvré à courant nul. Le courant doit être interrompu auparavant par un autre appareil prévu à cet effet.



Figure 3.6 Sectionneur haute tension

3.6.3 Interrupteurs :

L'interrupteur est un appareil servant à couper ou établir un circuit parcouru par
un courant de charge normal. Il réalise la fonction active **"commande"**.
Ces appareils sont utilisés en Basse et Moyenne Tensions jusqu'à 36 kV. En Haute
Tension, les interrupteurs sont d'un usage très peu fréquent.



Figure 3.7 Interrupteur haute tension

3.6.4 Disjoncteurs :

Le disjoncteur est un appareil qui sert à établir ou interrompre tout courant pouvant apparaître dans un circuit.

Le disjoncteur réalise donc les fonctions **"commande"** et **"élimination de défaut".** Par contre, le disjoncteur n'est pas un organe de sécurité. De ce fait, si le disjoncteur est capable aussi de la fonction **"isolement"**, il ne lui est pas demandé de réaliser la garantie de non-franchissement qui est une tenue à une valeur normalisée de surtension en forme d'onde de choc.



Figure 3.8 Disjoncteur Haute tension

3.6.5 Contacteurs :

Le contacteur est un appareil réalisant la fonction **commande**. Il est capable d'établir, d'interrompre et de supporter tout courant normal parcourant un circuit, y compris les courants de surcharge en service.



Figure 3.9 Contacteur haute tension

3.6.6 Coupe-circuits à fusibles :

Le coupe-circuit à fusible a pour fonction **d'interrompre** des courants élevés, par la fusion d'un élément.

Un fusible ne peut remplir son rôle qu'une seule fois, il doit être remplacé après fusion.



Figure 3.10 coupe-circuits à fusibles haute tension

3.6.7 Relais de protection :

Les relais de protection sont des appareils qui comparent en permanence les grandeurs électriques des réseaux (courant, tension, fréquence, puissance, impédance, …) à des valeurs prédéterminées et qui donnent automatiquement des ordres logiques lorsque la grandeur surveillée atteint la valeur de fonctionnement. L'ensemble cohérent des relais d'une installation constitue l'élément de base du système de protection de cette installation.

Le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un circuit électrique, avec pour objectif, suivant leur type :

- l'élimination des défauts, afin de limiter les contraintes électriques (surintensités, surtensions) et les contraintes mécaniques auxquelles ces défauts soumettent les matériels; cette élimination est obtenue en isolant la plus petite partie possible du réseau où est apparu un défaut : c'est le rôle des relais de protection contre les défauts.

- la surveillance des grandeurs électriques du réseau pour contrôler en permanence la qualité de l'énergie fournie et assurer la protection des personnes contre les dangers de l'électricité : c'est le rôle de relais d'exploitation ou de surveillance. [6]



Figure 3.11 Relais de protection

Fonctions de l'appareillage				
Appareils de base	Fonctions réalisées			
	isolement	commande	élimination de défaut	surveillance
Sectionneurs	x			
Interrupteurs		x		
Contacteurs		x		
Disjoncteurs		x	x	
Coupe-circuits à fusibles			x	x
Relais et déclencheurs				x

Tableau 3.12 choix des appareils de protection électrique

3.7 Les moyens de protection contre les risques électriques :

3.7.1 Protection contre les contacts directs :

Il s'agit de mettre hors de portée des personnes, tous les conducteurs habituellement sous tension :

- **Par éloignement :** L'éloignement doit être suffisant pour prévenir le risque d'accident par contact direct ou rapprochement à l'aide d'objets que les travailleurs manipulent ou transportent.

(Exemple : distance à respecter entre les lignes aériennes et des travaux de levage)

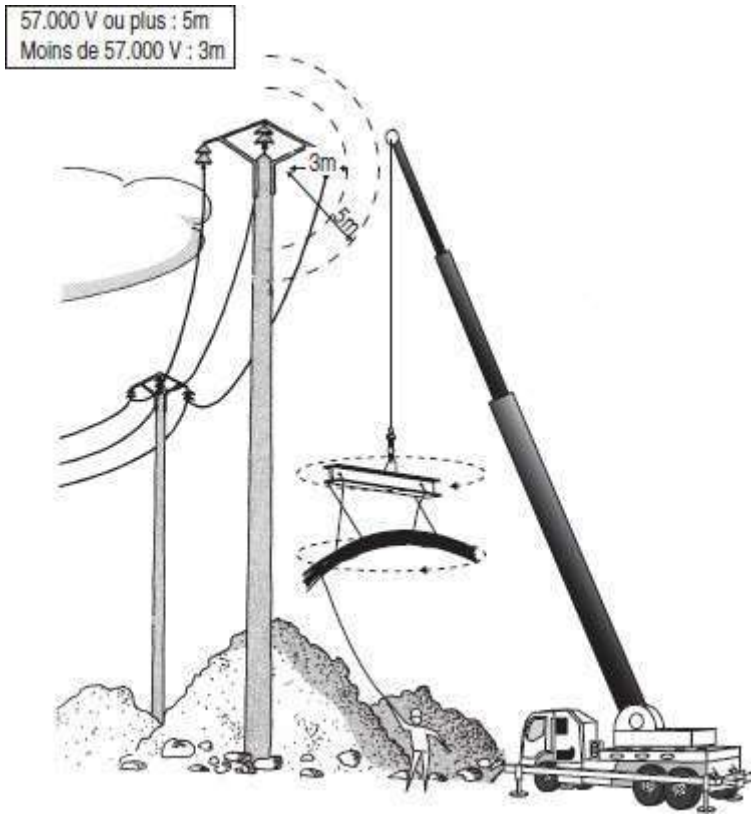


Figure 3.12 Protection par éloignement

En intercalant un obstacle (exemple : capot, porte, …) avec panneau d'avertissement.



❖ **Par isolation :** (Mise en place de manchons, panneaux isolants)

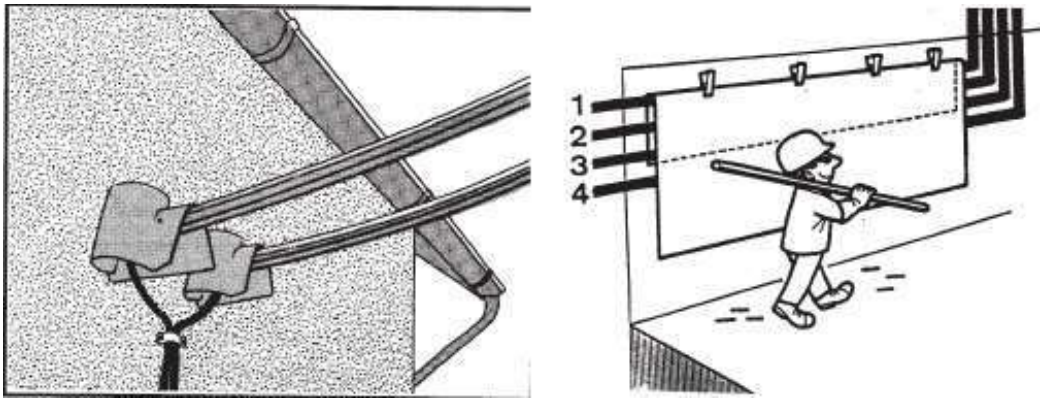


Figure 3.13 Manchons et panneaux isolants sur câbles sous tension

3.7.2 Protection contre les contacts indirects :

a - Mise à la terre des masses des récepteurs :

Cette méthode est valable seule si la résistance de la prise de terre est faible, ce qui n'est pas toujours facile à réaliser. Cela nécessite l'adjonction d'un dispositif différentiel qui coupe automatiquement l'alimentation dès que le potentiel des masses dépasse 25 à 50 V.

b – Dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DR) :

Il détecte une défaillance de l'isolement de l'alimentation se traduisant par un déséquilibre des courants dans les conducteurs. Lorsque l'intensité du courant de départ qui s'écoule dans la prise de terre atteint la valeur seuil (30 mA), l'alimentation est automatiquement coupée. Associé dans un même appareil à la protection contre les surintensités, il est appelé disjoncteur différentiel

c - Protection par séparation des circuits :

Réalisée par un transformateur de sécurité équipé donc de 2 bobinages (le primaire côté distribution, le secondaire côté récepteur) et permettant ainsi de séparer les appareils électriques récepteurs de la source d'alimentation.

Ce moyen est efficace à la condition expresse qu'aucun point du circuit secondaire ne soit réuni à la terre.

3.7.3 Protection contre les risques de brulures :

Pour prévenir les accidents qui entraîneront des brûlures dues à l'arc électrique et

aux projections de matière en fusion, il faut :

- Protéger les circuits de mesure contre les surintensités.
- Dispositifs à haut pouvoir de coupure.
- Porter des protections individuelles telles que : lunettes ou écrans faciaux anti UV, gants isolants adaptés à la tension.

3.7.4 Équipements individuels de protection et outillage de sécurité :

❖ **Équipements de protection individuelle (EPI) :**

Les équipements de protection individuelle (EPI) font partie intégrante de la sécurité électrique. Ils sont définis par le code de travail comme des < dispositifs ou moyens portés par une personne en vue de la protéger contre les risques susceptibles de menacer sa santé et sa sécurité >. [7]

La personne qui effectue des travaux d'ordre électrique ou au voisinage doit être munie d'équipements assurant sa sécurité :

- **Casque en plastique** d'électricien (isolation électrique et mécanique)



Figure 3.14 Casque isolant

- **Lunettes ou visière** anti UV :



Figure 4.15 Lunette et visière anti UV

- **gants isolants :**

• Adaptés à la tension concernée par l'intervention ou les travaux.
• Vérifiés fréquemment (absence de trou, déchirure, cassure).
• Rangés dans un coffret mural marqué "gants isolants".
• En aucun cas utilisés pour effectuer des opérations de manutention.
• Recouverts de gants de protection mécanique si les travaux à effectuer entraînent des risques d'écorchure, perforation.



• Figure 4.16 Les gants isolants

- **Chaussure de sécurité isolante :**

• résistance minimale de la semelle 100000 Ω

• résistance maximale de 106 Ω pour évacuer les charges d'électricité statique. Ces chaussures ne protègent que contre un contact corps-pied.



Figure 3.17 Chaussures à semelle isolante

- **Les vêtements de protection isolants :**Ces vêtements ont pour but d'isoler l'opérateur en cas de contact direct ou indirect.



Figure 3.18 Vêtement de protection isolant

❖ **Outillage de sécurité :**

- **Tabouret et tapis isolant**

L'emploi d'un tabouret ou d'un tapis isolant (en plus de gants et visière) est obligatoire pour toutes les manœuvres d'appareils de séparation HT, disjoncteur, interrupteur, sectionneur ainsi que pour l'utilisation de perche de manœuvre.

Attention :

- à la tension nominale des ouvrages.
- à la fixation des pieds et à leur propreté.



Figure 3.19 Tapis et tabouret isolant

- **Perches isolantes**

Perche de sauvetage et perche de manœuvre (accrochage de tresses provisoires de mise à la terre par exemple) doivent être :

- appropriées à la tension d'utilisation.
- propres, sèches.
- sans fêlure, ni déchirure de l'isolant.



Figure 3.20 Perche isolante

- **Matériel électro-secours :**

Il s'agit de coffrets contenant :

- un tabouret isolant.
- une perche avec, à son bout, un crochet et un indicateur de tension.
- une paire de gants isolants.
- une paire de chaussons isolants en caoutchouc.

Ils doivent être utilisés par du personnel habilité et formé, en cas d'accident (voltage
< 63000 V). Ils sont implantés en sous-stations électriques.



Figure 3.21 Coffret électro secours

- **Vérificateur d'absence de tension (V.A.T.) :**

Ce sont des matériels spéciaux, différents des voltmètres indicateurs.
Ils peuvent être du type lumineux ou sonore. Ils sont utilisés notamment au cours des opérations de consignation, préalablement à la mise à la terre et en court-circuit, pour vérifier l'absence de tension de service.



Figure 3.22 Vérificateur d'absence de tension (V.A.T)

3.7.5 Equipements de protection collective (EPC) :

Par mesures de protection collective, on étend toute mesure destinée à mettre hors portée par éloignement, par obstacle ou par isolation.

Cet équipement comprend :

- L'utilisation d'écran de protection (nappe isolante, tôle mise à la terre).
- Balisage de la zone de travail. [8]



Figure 3.23 Equipements de protection collective

3.7.6 Consignation électrique :

- **Rôle et étapes d'une consignation :**

La consignation se décompose en quatre phases :

- séparation
- condamnation
- Identification
- vérification d'absence de tension

L'ensemble de ces opérations doit être inscrit sur un document, **l'attestation de consignation pour travaux**, signé par la personne responsable de la consignation, et remis à la personne chargée de la **réalisation** des travaux qui le signe **"pour accord"**, avant d'ouvrir le chantier.[6]

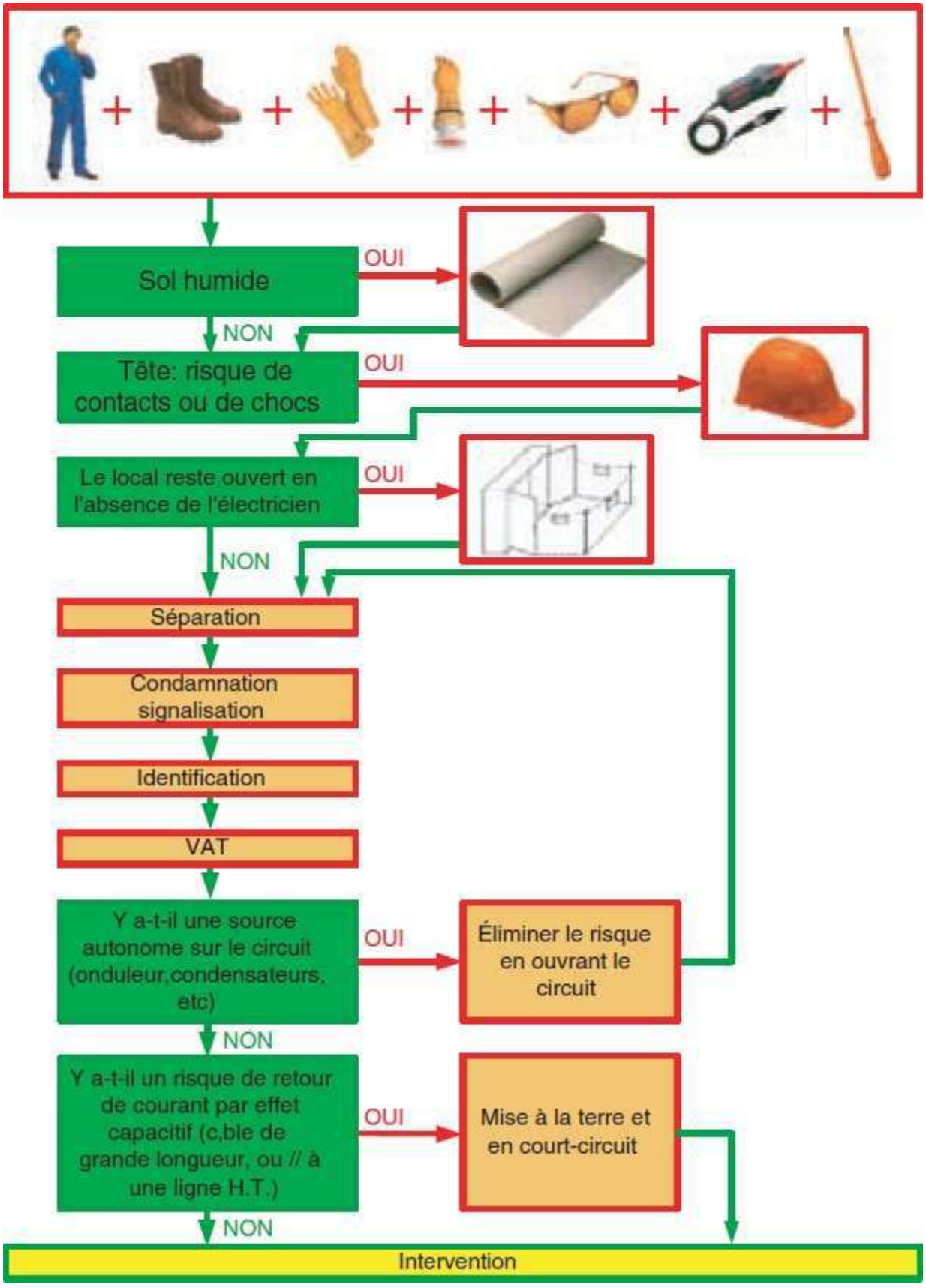


Figure 3.24 Etapes d'une consignation électrique

3.8 Conclusion :

Les risque d'origine électrique doit être prévenus par les chefs d'entreprise en sécurisant les installations et le matériel électrique, et en habilitant les équipes d'intervention sur ces installations.

Le risque électrique, s'il est mieux maitrisé, reste toujours présent. Les statistiques sont la pour prouver la diminution du nombre d'accidents tout en démontrant toujours leur exceptionnelle gravité.

Durant notre stage à l'unité centrale des utilités CU II sur les installations électriques au poste 63/5.5 KV nous avons constaté que plusieurs composantes électriques peuvent être la cause d'un accident d'origine électrique et nous trouvons que l'AMDEC est la méthode la plus adéquate pour ce cas, car elle permet de classer et de hiérarchiser les défaillances selon certains critères (probabilité d'occurrence, détection, gravité). Les résultats de cette analyse sont les actions prioritaires propres à diminuer significativement les risques de défaillances potentielles.

Conclusion générale

Les risques électriques liés à une non mise en sécurité dés 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 :

- Analyse 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 électrique 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 ers réalisée par un chargé de travaux ou par un chargé d'interventions, mais aussi par tout exécutant afin que la tache puisse être effectuée en sécurité.

On n'oublier pas que tout matériel électrique peur 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 manuelle 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 en utilise les moyens adéquats et le personnel qualifié et habilité.

Référence bibliographique

[1] Introduction au risque électrique, **www.inrs.fr@INRS,2003**

[2]Publication 479 de la CEI, Effets du courant électrique sur le corps humain. No 2002-123.

[3] HOMBERGER, E., Les dangers de l'électricité, cahiers suisses de la sécurité de travail, caisse national suisse d'assurance en cas d'accidents, 1986.

[4]http://pamelard.electro.pagespersoorange.fr/fichier%20pdf/habilitation/Les%2 0risques%20electriques.pdf.

[5] Analyse d'accident d'origine électrique**, www.inrs.fr@INRS,1993**

[6] Institut français du pétrole, 2005 ENSPM Formation industrie- IFP training. Sécurité des systèmes – analyse des risques. PDF

[7] http://www.beswic.be/Equipement de protection collective et individuelle

[8] http://www.inma.fr/Equipement de protection collective électrique