



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de la Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Électrique

Spécialité : Réseaux Electriques

Réalisé par :

Brahim Khir, Zidi Abdelhafidh et Labbi Hacem.

Thème

Etude et réalisation d'un sectionneur de haute tension

Soutenu le 16/06/2021. Devant le jury composé de :

Dr. Khechkhouché Ali

Maitre de conférences Président

Dr. Guia Talal

Maitre de conférences Rapporteur

Dr. Mida Dris

Maitre de conférences Examinateur

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Mes remerciements, avant tout, à DIEU tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a données durant toutes ces longues années d'études afin que je puisse arriver à ce stade.

Nos vifs remerciements particulièrement à notre encadreur :

Dr. Guia Talal, pour son aide précieuse, ses conseils constructifs et ses orientations bénéfiques et objectives et surtout sa confiance durant les moments d'efforts pour la réalisation de notre projet.

Nous remercions également tous les enseignants de l'électrotechnique qui nous ont étudiées dans l'université d'El-Oued.

Dédicaces

*Je dédie ce travail à la mémoire de mes grandes mères
et grands pères.*

A mes très chers parents.

A mes frères,

A tous les membres de ma famille,

A mes très chers amis.

A tous les étudiants qui ont étudiés avec moi,

A tous mes amis du génie électrique,

A tous les enseignants du département génie électrique.

Et à tous ceux qui m'ont aidé à compléter ce mémoire

Khir Brahim

Dédicaces

*Je dédié ce travail à
Mes grandes mères et grands pères
À mes très chers parents.*

*À mes frères et sœurs,
À tous les membres de ma famille,*

*À mes très chers amis,
À tous mes amis du génie électrique,*

Zidi Abdelhafidh

Dédicaces

*Je dédie ce travail à la mémoire de mes grandes mères et
grands pères*

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs,

A tous les membres de ma famille,

A mes très chers amis,

A tous les étudiants de ma promotion,

A tous mes amis du génie électrique,

A tous les enseignants du département génie électrique.

Labbi Hacen

LISTE DE FIGURES

Chapitre I Généralités sur les matériaux diélectriques

FIGURE I 1:CARACTERISTIQUES DE LA DECHARGE DANS LES GAZ.....	8
FIGURE I 2:CARACTERISTIQUES DE LA DECHARGE DANS LES GAZ.....	9
FIGURE I 3 LA CONFIGURATION PLAN-PLAN LES LIGNES DE CHAMPS SONT PARALLELES ET LE CHAMP EST PARFAITEMENT HOMOGENE DANS L'ESPACE INTER ELECTRODES. DES QU'UN STREAMER PREND NAISSANCE IL SE PROPAGE JUSQU' A L'ANODE.....	11
FIGURE I 4 LA CONFIGURATION POINTE POSITIVE PLANE A LA TERRE, LES LIGNES DE CHAMP MONTRENT LA DISSYMETRIE DU CHAMP ELECTRIQUE ENTRE ELECTRODES	11

Chapitre II Généralités sur les disjoncteurs de haute tension

FIGURE II 1 DISJONCTEUR A HUILE	23
FIGURE II 2 DISJONCTEUR A AIR COMPRIE.....	24
FIGURE II 3 AMPOULE A VIDE POUR DISJONCTEUR A MOYENNE TENSION	25
FIGURE II 4 DISJONCTEUR A GAZ SF ₆ (HEXAFLUORURE DE SOUFRE)	26
FIGURE II 5 PRINCIPE DES DISJONCTEURS AUTO-PNEUMATIQUES.....	27
FIGURE II 6 DISJONCTEURS DE GENERATEURS	28
FIGURE II 7 DISJONCTEUR OUVERTS : 245 kV ; 40 kA ; 50 Hz.	29
FIGURE II 8 LES PARTIES PRINCIPALE D'UN DISJONCTEUR DE HAUTE TENSION.....	30
FIGURE II 9 SECTIONNEUR HAUTE TENSION	33
FIGURE II 10 SCHEMA ELECTRIQUE D'UN SECTIONNEUR.....	34

Chapitre III Etude et réalisation d'un sectionneur de haute tension

FIGURE III 1 ARDUINO UNO	40
FIGURE III 2 DESCRIPTION D'UNE CARTE ARDUINO UNO	41
FIGURE III 3 SERVO MOTEUR TD-8120MG 20 KG.CM	42
FIGURE III 4 ÉCLATEURS SPHERIQUES	43
FIGURE III 5 BLOC D'ALIMENTATION 15V	44
FIGURE III 6 INTERFACE DE ARDUINO IDE	45
FIGURE III 7 PROGRAMME DE COMMANDE LE SERVO MOTEUR SOUS L'INTERFACE ARDUINO	46
FIGURE III 8 PUPITRE DE COMMANDE	47
FIGURE III 9 SECTIONNEUR DE HAUTE TENSION COMMANDE	48
FIGURE III 10 L'APPARITION DE L'ARC ELECTRIQUE OU LA DISTANCE ENTRE LES ECLATEURS SPHERIQUES EST 1.6 CM	49
FIGURE III 11 L'APPARITION DE L'ARC ELECTRIQUE OU LA DISTANCE ENTRE LES ECLATEURS SPHERIQUES EST 2.5 CM	40
FIGURE III 12 L'APPARITION DE L'ARC ELECTRIQUE COMPLET OU LA DISTANCE ENTRE LES ECLATEURS SPHERIQUES EST 5.9 CM	50
Figure III-13 La tension nécessaire pour l'apparition d'un arc électrique dans des différents distances entre les éclateurs.....	52

Liste de Tableaux

Chapitre II Généralités sur les disjoncteurs de haute tension

TABEAU II 1 SYMBOLES NORMALISES POUR LA REPRESENTATION DES APPAREILS DE CONNEXION [13].....	21
---	----

Chapitre III Etude et réalisation d'un sectionneur de haute tension

TABEAU III 1 LE TABLEAU SUIVANT REPRESENTE LA TENSION NECESSAIRE POUR L'APPARITION D'UN ARC ELECTRIQUE DANS DES DIFFERENTS DISTANCES ENTRE LES ECLATEURS SPHERIQUES	49
---	----

Liste des Symboles

λ : Est le libre parcours moyen

$eE\lambda$: est l'énergie gagnée par l'électron entre les collisions (en eV)

V_i : est un potentiel effectif d'ionisation qui tient compte des effets des pertes d'ions.

E_d : le champ électrique de la décharge

V_c : La tension de claquage pour une tension continu

I_0 : Le courant électronique à la cathode (A) juste à l'application de la tension.

α : Le 1^{er} facteur de Townsend.

d : La distance entre les deux électrodes (cm).

E_c : Intensité de champ.

$h\nu$: Quantum d'énergie perdu par un électron dans les processus non ionisants.

h : Constante de Planck.

ν_{C-H} : Fréquence de vibration des liaisons C-H

N : Nombre de particules par unité de volume.

n : Nombre de groupes (CH, CH₂, CH₃) dont la section efficace correspond à la collision avec un électron Q_i

ν_{C-C} : Fréquence de vibration des liaisons chimiques C-C.

l : Longueur de la projection des liaisons C-C sur l'axe des molécules.

n : Nombre d'atomes de carbone dans la molécule.

LISTE DE SYMBOLES

ρ : Densité du liquide.

M : Masse moléculaire du liquide

A : nombre d'Avogadro

ϵ_p : Permittivité de la particule.

ϵ_L : Permittivité du liquide.

E : Champ électrique.

r : Rayon de la particule.

T : Température du liquide.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	2
Chapitre I Généralités sur les matériaux diélectriques	4
<i>I-1 INTRODUCTION :</i>	<i>5</i>
<i>I-2 DEFINITION D'UN ISOLATEUR :</i>	<i>5</i>
<i>I-3 DIFFERENTE TYPES DES ISOLATEURS :</i>	<i>5</i>
<i>I-3-1 Les diélectriques gazeux :</i>	<i>5</i>
<i>I-3-1-1 Caractérisation des décharges gazeuse :</i>	<i>6</i>
<i>A-Principe de base et phénomènes d'amorçage en tension continue :..</i>	<i>6</i>
<i>B- Caractéristiques de la décharge dans les gaz :</i>	<i>8</i>
<i>I-3-1-2 Influence de différents paramètres sur la rigidité diélectrique :</i>	<i>10</i>
<i>A-Influence de la distribution du champ électrique appliqué :</i>	<i>10</i>
<i>B- Influence du type de tension appliquée :</i>	<i>11</i>
<i>I-3-2 Les diélectriques liquides :</i>	<i>12</i>
<i>I-3-2-1 Claquage dans les liquides :</i>	<i>13</i>
<i>A- Mécanisme électronique :</i>	<i>14</i>
<i>B- Mécanisme de claquage avec phase gazeuse :</i>	<i>15</i>
<i>C-Mécanisme de claquage par pont :</i>	<i>16</i>
<i>I-3-2-2 Influence de différents paramètres sur la rigidité diélectrique :</i>	<i>17</i>
<i>A- Humidité.....</i>	<i>17</i>
<i>B- Pression hydrostatique</i>	<i>17</i>
<i>C- Distance entre électrode</i>	<i>17</i>
<i>D- Température.....</i>	<i>17</i>
<i>E- Nombre de claquages</i>	<i>18</i>
<i>F- Influence des écrans.....</i>	<i>18</i>
<i>G- Durée d'application de la tension</i>	<i>18</i>
<i>I-4 CONCLUSION :</i>	<i>18</i>
Chapitre II Généralités sur les disjoncteurs et les sectionneurs de haute tension.....	19
<i>II-1 INTRODUCTION :</i>	<i>20</i>
<i>II-2 GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES :</i>	<i>20</i>
<i>II-2-1 Les appareils de connexion dans un réseau électrique :</i>	<i>21</i>
<i>II-3 LES DISJONCTEURS DE HAUTE TENSION :</i>	<i>22</i>

SOMMAIRE

<i>II-3-1 Définition d'un disjoncteur de haute tension</i>	22
<i>II-3-2 Principe de fonctionnement d'un disjoncteur :</i>	23
<i>II-3-3 Le rôle d'un disjoncteur de haute tension :</i>	23
<i>II-3-4 Classification des disjoncteurs de haute tension :</i>	23
<i>II-3-4-1 selon Le milieu de coupure :</i>	23
<i>II-3-4-2 selon l'utilisation :</i>	28
<i>II-3-4-3 selon l'installation :</i>	29
<i>II-3-5 Description générale d'un disjoncteur à haute tension :</i>	30
<i>II-3-6 Les caractéristiques assignées d'un disjoncteur HT :</i>	32
<i>II-3-7 Dimensionnement des disjoncteurs :</i>	33
<i>II-3-8 Les critères de dimensionnement :</i>	33
<i>II-4 LES SECTIONNEURS DE HAUTE TENSION :</i>	33
<i>II-4-1 Définition :</i>	34
<i>II-4-2 Constitution générale :</i>	35
<i>II-4-3 Principe de fonctionnement du Sectionneur :</i>	35
<i>II-4-4 Ses caractéristiques principales :</i>	36
<i>II-4-5 Différents organes :</i>	36
<i>II-4-6 Différents types de sectionneurs:</i>	37
<i>II-5 CONCLUSION :</i>	38
 Chapitre III Etude et réalisation d'un sectionneur de haute	
tension	39
<i>III-1 INTRODUCTION :</i>	40
<i>III-2 REALISATION D'UN SECTIONNEUR COMMANDE :</i>	40
<i>III-2-1 Description des matériaux exploités :</i>	40
<i>III-3 ETUDE EXPERIMENTALE :</i>	48
<i>III-3-1 : Équipements pour l'étude</i>	48
<i>III-3-2 Les essais expérimentales :</i>	49
<i>III-4 CONCLUSION :</i>	52
 CONCLUSION GENERAL	54
 Références bibliographiques	55

Résume :

Ce mémoire présente une étude et réalisation d'un sectionneur commandé de haute tension.

Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion, capable d'ouvrir et de fermer un circuit électrique lorsque le courant est nul et de protéger les composants de réseau et assurer la sécurité des personnes travaillant dans le réseau électrique.

On a réalisé ce sectionneur à l'aide de certains matériaux, pour commander ce dernier on a utilisé un servo moteur pour déplacer le bras du sectionneur et un Arduino pour commander le servo moteur, enfin nous faisons des tests pratique sur ce sectionneur.

Mots clés : Sectionneur, haute tension.

Abstract :

This thesis present a study and realization of a controled high voltage disconnecter.

The disconnecter is a mechanical connection device, capable of opening and closing an electrical circuit when the current is zero and of protecting network components and ensuring the safety of people working in the electrical network.

We made this disconnecter using certain materials, to control this disconnecter we used a servo motor to move its arm and an Arduino to control the servo motor. Finally, we will run tests on this disconnecter and see if the results are satisfying or not.

Key words: Disconnector, high voltage.

ملخص:

هذه المذكرة تتمحور حول دراسة وانجاز فاصل للجهد العالي يتم التحكم به عن طريق جهاز اردوينو.

الفاصل هو جهاز اتصال ميكانيكي، قادر على فتح وإغلاق دائرة كهربائية عندما يكون التيار يساوي او يقارب الصفر ويستعمل لحماية مكونات الشبكة وضمان سلامة الأشخاص العاملين في الشبكة الكهربائية.

لقد صنعنا هذا الفاصل باستخدام مواد معينة، للتحكم في الأخير استخدمنا محرك سيرفو لتحريك ذراع الفاصل وجهاز اردوينو للتحكم في محرك السيرفو، وأخيراً سوف نجري بعض الاختبارات على هذا القاطع في مخبر التوتر العالي.
كلمات مفتاحية: فاصل، الجهد العالي.

Introduction

Générale

INTRODUCTION GENERALE

La demande actuelle d'énergie électrique augmente de plus en plus dans le monde. Cette énergie est transportée par des réseaux électriques haute tension qui deviennent plus complexes, mais qui doivent être toujours sûre [1].

Le bon fonctionnement des réseaux électriques revient à leurs composants (générateurs, transformateurs, lignes, appareils de connexions et de protections, ...) qui les constituent dans un plan de tension bien déterminé.

Les appareils de connexion et de protection sont des éléments essentiels dans un réseau électrique, leurs choix exigent la connaissance du comportement du système lors d'un défaut (agression naturel, court-circuit, ...).

En tout niveau de tension le disjoncteur joue un rôle très important concernant l'interruption et l'établissement du courant dans des conditions normales et anormales du fonctionnement d'un réseau. Son histoire est riche d'inventions diverses, basées sur l'amélioration de ses mécanismes de fonctionnement, ses dimensions et enfin ses principes de coupure.

La présence du disjoncteur dans un réseau électrique haute tension prend toute son importance ; il permet de reconfigurer rapidement le réseau et minimiser les dommages possibles provenant des défauts [2].

Dans ce contexte, notre travail consacré sur la thématique << **Etude et réalisation d'un disjoncteur de haute tension**>>, est constitué des trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré sur les milieux isolants, dans ce chapitre on a parlé sur quelques généralités sur les isolants qui sont très important dans le disjoncteur et les sectionneurs de haute tension, on a commencé par la définition des isolateurs, ainsi les différents types des matériaux isolantes (les diélectriques liquides et gazeux).

Dans la première partie de la deuxième chapitre nous avons parlés sur les disjoncteurs de haute tension, on a commencé par quelques généralités sur ces disjoncteurs, puis le principe de fonctionnement et rôle d'un disjoncteur, ainsi on a distingué les différentes classifications des disjoncteurs de haute tension , enfin on a expliqué les parties essentielles du un disjoncteur en haute tension (partie active, partie de commande et partie de contrôle),et dans la deuxième partie nous avons parlés sur les sectionneur de haute tension.

Le troisième chapitre est appelé étude et réalisation d'un sectionneur de haute tension, et dans ce chapitre on va essayer à construire un sectionneur commandé par un Arduino et fais des tests pratiques à ce sectionneur dans le laboratoire de haute tension.

Chapitre I

Généralités sur les matériaux diélectriques

I-1 Introduction :

La contrainte électrique dans les circuits électriques est résistée principalement par les isolateurs, ces derniers sont constitués des différentes matériaux isolantes, caractérisé par une grande impédance au passage du courant électrique. Son rôle est de séparer deux corps conducteurs, soumis à deux potentiels différents [3].

Dans les réseaux de transport d'énergie électrique, l'isolement pylône-conducteur qui représente les deux parties conductrices, est assuré par une chaîne d'isolateurs. Chaque chaîne est caractérisée principalement par sa longueur de fuite (nombre d'éléments) [4].

Un diélectrique est caractérisé par ses propriétés électriques, mécaniques, chimiques et thermiques

Les isolants sont utilisés pour :

- Assurer une séparation électrique entre des conducteurs portés à des potentiels différents afin de diriger l'écoulement du courant dans les conducteurs désirés, protection des personnes et des équipements.
- Supporter les éléments d'un réseau électrique et les isoler les uns par rapport aux autres et par rapport à la terre [5].

I-2 Définition d'un isolateur :

L'isolateur est utilisé comme son nom l'indique pour l'isolement entre deux corps ou deux pièces sous différentes tensions pour empêcher les courts circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle.

Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales. D'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique des pylônes mis à la terre, et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes contraintes mécaniques dû surtout au poids de la ligne, son mouvement en présence de vent [6].

I-3 Différents types des isolateurs :

I-3-1 Les diélectriques gazeux :

Quelques isolateurs gazeux

- **L'air sec**, qui a l'avantage d'être abondant.
- **L'hexafluorure de soufre (SF₆)**, qui sous pression a une meilleure rigidité diélectrique que l'air.
- **Le diazote**, qui n'est pas aussi isolant que le SF₆ mais, étant présent dans l'air, n'a pas d'effet néfaste sur l'environnement en cas de fuite.

I-3-1-1 Caractérisation des décharges gazeuse :

A- Principe de base et phénomènes d'amorçage en tension continue :

Pour obtenir des décharges dans un gaz, il faut appliquer un champ électrique entre les deux électrodes. En présence de champ électrique $\vec{E}$, les électrons libres présents dans le gaz sont accélérés et deviennent assez énergétiques pour ioniser d'autres atomes, ce qui entraîne la production d'électrons supplémentaires qui sont à leur tour accélérés par le champ électrique $\vec{E}$, et ainsi de suite. Si la différence de potentiel est suffisamment élevée, c'est-à-dire supérieure à un certain seuil, on aura une cascade de collisions : c'est le phénomène d'avalanche qui conduit à l'ionisation partielle du gaz qui devient conducteur, ce qui forme un plasma. Si l'on introduit un gaz entre une cathode soumise à une tension négative, et l'anode reliée à la masse, la probabilité d'ionisation par unité de longueur X sera proportionnelle au nombre de collisions par unités de longueur multiplié par la probabilité que la collision provoque une ionisation. On peut écrire [7].

$$\alpha = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{V_i}{eE\lambda}\right) \quad (1.1)$$

Où –

λ : Est le libre parcours moyen

$eE\lambda$: est l'énergie gagnée par l'électron entre les collisions (en eV)

V_i : est un potentiel effectif d'ionisation qui tient compte des effets des pertes d'ions.

Le terme exponentiel exprime donc la probabilité pour que l'électron provoque une ionisation. On sait que le libre parcours moyen est inversement proportionnel à la pression p . On peut donc décrire le champ électrique E_d de la décharge au moyen de la formule suivante [7] :

$$E_d = \frac{Ap}{(C + \ln(p \cdot d))} \quad (1.2)$$

Où pd est le produit pression distance (Torr.cm), A et C sont des constantes qui dépendent

du gaz.

La tension de claquage pour une tension continu V_c est en fonction du gaz utilisé de la pression

(p) du gaz, et de la distance (d) entre la cathode et l'anode. Cette dépendance exprimée par la relation suivante [7] :

$$V_c = \frac{C_1(p.d)}{C_2 + \ln(p.d)} \quad (1.3)$$

Avec C_1 et C_2 sont des constantes dépendantes de la nature du gaz.

En examinant la formule de la tension de la décharge, on constate que pour les larges installations c'est-à-dire pour des valeurs très élevées du produit pd , la tension de claquage est proportionnelle directement ou inversement à pd . Cette dépendance est nommée loi de Paschen, qui reflète, en fait, la dépendance de la décharge lumineuse vis à vis des électrons secondaires.

Si la distance entre les électrodes est petite ou la pression est faible, les électrons secondaires émis de la cathode peuvent arriver à l'anode et provoquer un nombre insuffisant de collisions pour générer un plasma par les électrons secondaires. D'autre part, si la pression est trop élevée, les électrons ne peuvent pas avoir une énergie suffisante entre deux collisions successives pour produire un nombre suffisant d'ions. Si la distance entre la cathode et l'anode est très grande, seulement une petite fraction d'ions produits arrivera à la surface de la cathode et créera des électrons secondaires.

Aux deux points extrêmes de la valeur du produit pd , la probabilité d'ionisation et/ou la collection d'ions est petite et la tension de claquage exigée pour soutenir la décharge est trop élevée. La tension de claquage atteint un minimum entre les deux limites. Ce comportement est décrit par la courbe de Paschen qui est représentée dans la **figure (I.1)** qui reprend l'évolution de la tension d'amorçage en fonction du produit pd [7].

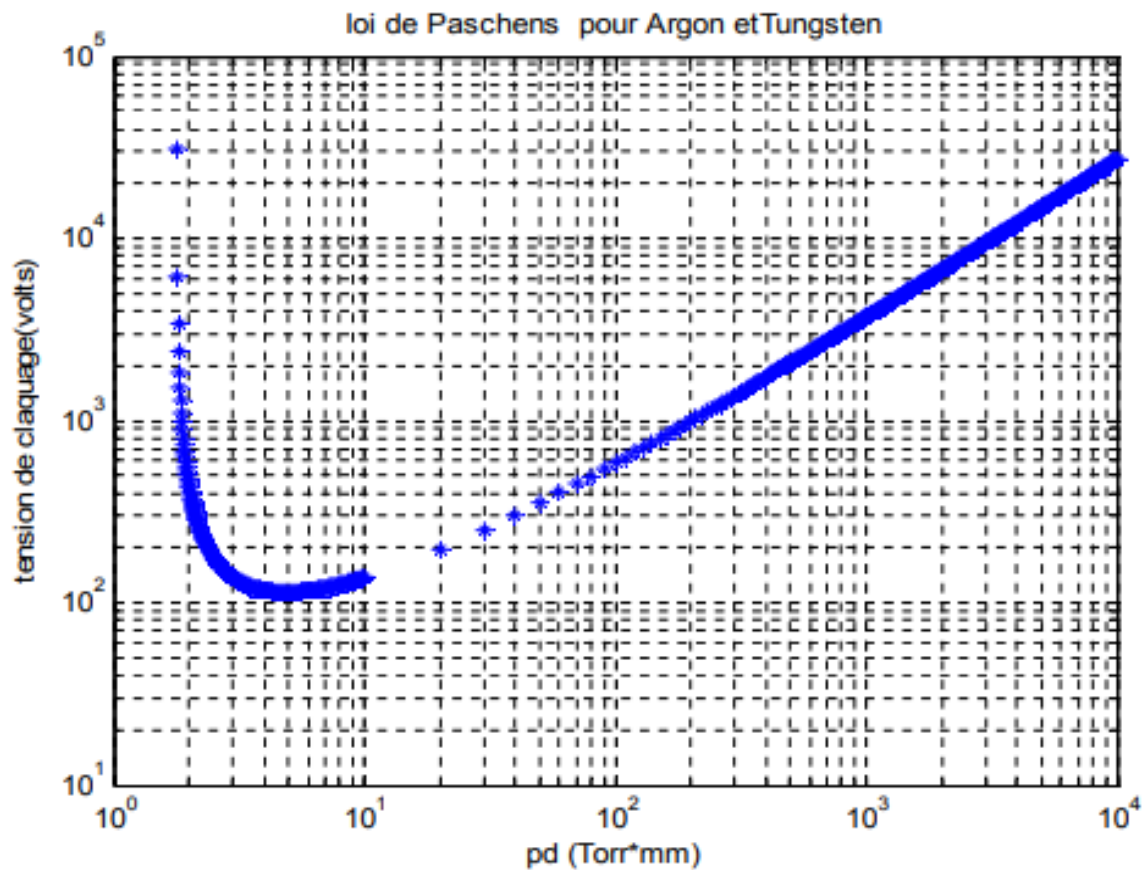


Figure I-1:Caractéristiques de la décharge dans les gaz

Sur la courbe, on constate pour les deux gaz, que la tension de claquage minimale (minimum, de Paschen) est comprise entre 100 et 500 V et se produit pour des valeurs de pd comprises entre 10^{-1} et 10 Torr.cm [7].

B- Caractéristiques de la décharge dans les gaz :

Un gaz soumis à une décharge de laboratoire, peut se trouver dans différents régimes de fonctionnement. Afin d'identifier ces régimes, nous considérons une décharge de type continu : nous connectons à une source de tension continue, deux électrodes (anode et cathode) séparées par le gaz (à basse pression et confiné) qui sera ionisé. Les différents régimes sont représentés dans la figure I 2 suivant :

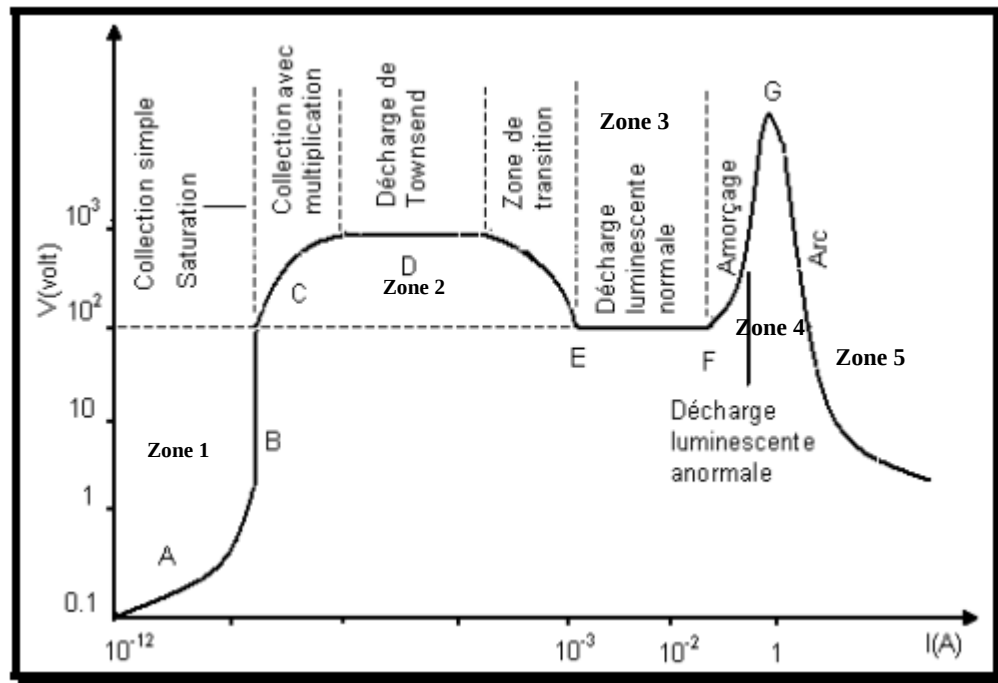


Figure I 2:Caractéristiques de la décharge dans les gaz [27].

(Zone 1) : Collection simple saturation.

(Zone 2) : décharge de Townsend.

(Zone 3) : Décharge lumineuse normale.

(Zone 4) : Décharge lumineuse anormale.

(Zone 5) : décharge d'arc.

Aux faibles courants, la décharge est dépendante, elle ne s'entretient que lorsqu'elle est exposée à un agent d'ionisation extérieur tels que les rayons cosmiques, la lumière ultraviolette, etc. Si la différence de potentiel entre les électrodes est suffisante, les électrons vont pouvoir créer des paires d'ion-électron, ces derniers pouvant à leur tour ioniser d'autres particules de gaz. C'est l'effet d'avalanches électroniques. Le processus d'avalanche a pour conséquence d'augmenter fortement le courant de décharge, c'est la décharge de Townsend, et la distribution de courant est homogène. Lorsque le courant augmente, la tension entre les électrodes chute et la décharge devient

luminescente sur les bords de la cathode, à cause de la désexcitation des atomes de gaz et de la neutralisation des ions. Si le courant croît jusqu'au point où la décharge devient luminescente sur toute la surface de la cathode, la tension entre les électrodes augmente et la décharge devient anormale. C'est ce mode anormal qui est utilisé en pulvérisation cathodique, d'une part en raison de la différence de potentiel élevée entre les électrodes et d'autre part à cause d'un courant de décharge important. Pour des valeurs de courant élevées, la cathode s'échauffe et émet spontanément des électrons qui peuvent provoquer des arcs (instabilité du plasma). Le courant électronique à une position z de l'intervalle inter-électrodes est donné par la relation suivante [5].

$$dI_e(z) = \alpha I_e(z) dz \quad (1.4)$$

Le courant de Townsend est donné par la relation suivante :

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (1.5)$$

Avec :

I_0 : Le courant électronique à la cathode (A) juste à l'application de la tension.

α : Le 1^{er} facteur de Townsend.

γ : Le coefficient d'émission d'électrons secondaires

d : La distance entre les deux électrodes (cm).

I-3-1-2 Influence de différents paramètres sur la rigidité diélectrique :

Le vide (ou le gaz) est idéalement le meilleur isolant, mais ceci est affecté par plusieurs facteurs.

A-Influence de la distribution du champ électrique appliqué :

Si les électrodes sont des plans parallèles, le champ est homogène. Si son intensité est telle qu'un streamer prend naissance, son développement sera jusqu'à la cathode. Si La condition de claquage de l'intervalle (d'air ou de gaz) se ramène à la condition d'apparition du streamer.

Si les électrodes sont dissymétriques, par exemple une configuration pointe plan, les avalanches se développeront préférentiellement dans la région de fort champ c'est-à-dire près de la pointe. Si le streamer prend naissance il se propagera tant que le champ électrique total dans la région active permet de reproduire des avalanches secondaires [5].

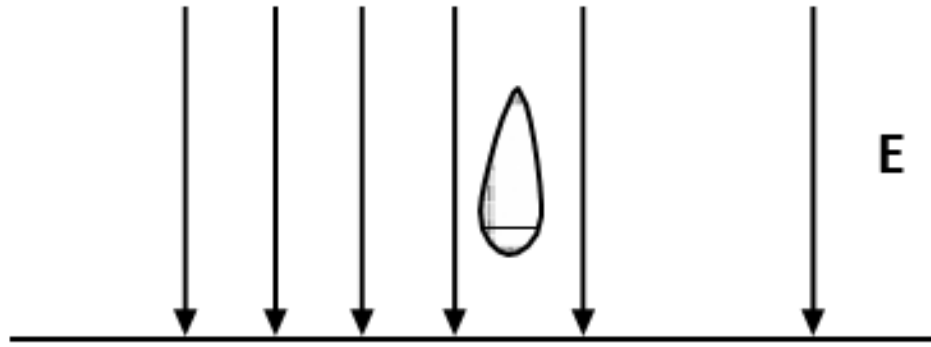


Figure I 3 La configuration plan–plan les lignes de champs sont parallèles et le champ est parfaitement homogène dans l'espace inter électrodes. Dès qu'un streamer prend naissance il se propage jusqu' à l'anode

Si la pointe est portée à une tension positive par rapport au plan, les avalanches se développent vers la pointe et le streamer

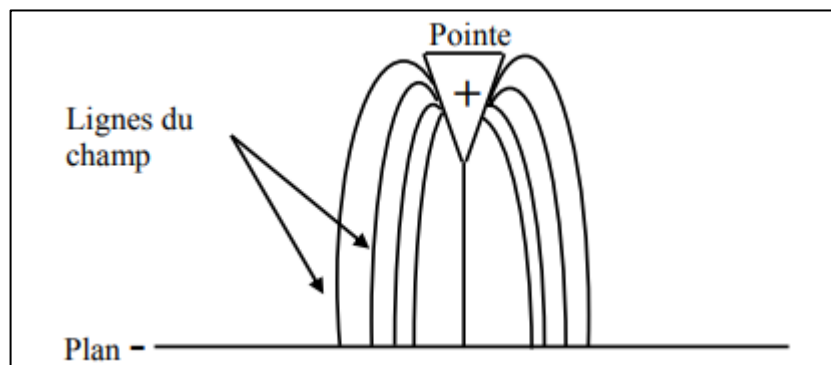


Figure I-4 La configuration pointe positive plane à la terre, les lignes de champ montrent la dissymétrie du champ électrique entre électrodes

Si la pointe est à un potentiel négatif, les avalanches s'éloignent de la pointe et les streamers aussi. Car la tête de l'avalanche dans ce cas est chargée par les électrons qui ont une vitesse plus grande que celle des ions qu'ils ont laissés derrière eux [5].

B- Influence du type de tension appliquée :

La forme de la tension appliquée est importante pour décrire le déclenchement du streamer. Elle peut être continue (un échelon), alternative ou une rampe. Raisonons d'abord dans la configuration pointe positive plan à la masse pour laquelle les mécanismes sont mieux connus [5].

a- En tension continue :

On peut définir un niveau de tension minimum qui correspond à l'apparition du premier streamer. Si ce niveau est appliqué ou même dépassé, un streamer se développe. S'il atteint le plan, un court-circuit limité par le circuit extérieur prend place. Si le champ n'est pas suffisant pour que le streamer traverse tout l'intervalle inter électrode, la partie "passive" a pour effet de réduire le champ au voisinage de l'électrode privant tout phénomène d'ionisation. Les processus de recombinaison et de dérive et de diffusion vont dégager petit à petit le voisinage de la pointe.[8]. Le champ électrique augmente et les conditions d'initiation d'avalanche et de streamer réapparaissent. Le résultat est une succession de petites décharges streamer à fréquence régulière dépendant du niveau de la tension. Ce streamer porte aussi le nom de "dard".

b- En tension alternative :

(50 ou 60 Hz)

bourdonnements que l'on entend sous les lignes HT. Dans ce cas, les streamers se développent tout autour du câble HT et on parle de "décharge couronne" [5].

Il existe d'autres paramètres qui agissent sur le claquage dans les gazes nous citons quelques-uns

- Métal des électrodes.
- Contamination extérieure.
- Température de l'intervalle.
- Pression du gaz [5].

I-3-2 Les diélectriques liquides :

Quelques isolateurs liquides :

- L'huile minérale

Elles sont essentiellement composées de triglycérides. Elles présentent une composition relativement simple (quelques dizaines de molécules). Elles sont produites à partir de ressources renouvelables (plantes) [9].

- **L'huile de silicone.**

- **L'huile végétale**

Issues du raffinage des bruts pétroliers de base paraffinique, naphténique ou mixte, ce sont également des produits « naturels » mais non renouvelables. Ces huiles sont composées de plusieurs milliers de molécules différentes. La teneur en composés aromatiques qui sont potentiellement toxiques est minimisée au cours du raffinage [9].

- **L'eau pure.**

Si l'eau est habituellement conductrice, une eau parfaitement pure est un très bon isolant. La difficulté de garder dans la durée une eau très pure rend toute utilisation industrielle difficile.

- **L'azote liquide**, l'hélium liquide ou le SF₆ permet d'isoler des composants supraconducteurs à très basse température.

- **Liquides de synthèse**

Ils ont une composition et des propriétés bien définies. Ils comprennent principalement des hydrocarbures halogénés (aromatiques ou aliphatiques), des hydrocarbures aromatiques, des hydrocarbures aliphatiques, des esters et des huiles silicones [9].

- **Gaz liquéfiés**

Ils peuvent être utilisés en Cryo électrotechnique [9].

I-3-2-1 Claquage dans les liquides :

Les phénomènes de décharges dans les diélectriques liquides restent jusqu'à ce jour moins connus par rapport aux gaz et solides malgré l'existence d'une importante quantité d'informations [10]. Cela est dû principalement à l'intervention d'une multitude de facteurs physico- chimiques, thermiques, électroniques, hydrodynamiques..., lors de l'apparition d'une décharge (phase de génération) ou durant la phase de propagation dénommée "streamers" jusqu'au claquage. De nombreux chercheurs ont tenté d'appliquer aux liquides les théories proposées pour les gaz et les solides [10].

Il existe deux principaux mécanismes pouvant être présentés en ce qui concerne le claquage des diélectriques liquides. En plus de ces mécanismes, le claquage peut être dû à la présence d'impuretés de diverses natures en suspension dans le diélectrique liquide. On parle dans ce cas de mécanisme de claquage par pont. Ce dernier mécanisme est le plus proche de celui concernant les huiles de transformateur. Ces derniers sont soumis à différentes contraintes en

exploitation, plus particulièrement au vieillissement électrique et au vieillissement thermique en présence d'impuretés de différentes natures nous citons les différents mécanismes de claquage dans les liquides [10].

A- Mécanisme électronique :

Il a été constaté dans le Xénon et l'Argon liquides, que le courant croît de manière exponentielle lorsque la tension appliquée augmente. Cela a été interprété comme le résultat d'un processus d'avalanche.

D'après (Von Hippel) La condition limite d'apparition d'une ionisation électronique des particules du liquide est donnée par : [10]

$$e \cdot E_C \cdot \lambda = c \cdot h \cdot \nu \quad (1.6)$$

E_C : Intensité de champ.

λ : l.p.m d'un électron dans le liquide

$h \cdot \nu$: Quantum d'énergie perdu par un électron dans les processus non ionisants.

c : Constante liée aux conditions expérimentales.

Dans les hydrocarbures liquides, d'après Lewis, l'électron fournit son énergie principalement dans les processus d'excitation, lors des vibrations des liaisons chimiques C-H. La rigidité diélectrique E_C , peut être formulée par [10] :

$$E_C = \frac{c \cdot h \cdot \nu_{C-H}}{e} \cdot N \cdot \sum n_i \cdot Q_i \quad (1.7)$$

h : Constante de Planck.

ν_{C-H} : Fréquence de vibration des liaisons C-H

N : Nombre de particules par unité de volume.

n : Nombre de groupes (CH, CH₂, CH₃) dont la section efficace correspond à la collision avec un électron

Q_i

donnée par [10] :

$$E_C = \frac{h \cdot \nu_{C-C}}{e} \cdot d \cdot l \cdot (n - 1) \cdot N \cdot \frac{\rho}{M} \cdot A \quad (1.8)$$

ν_{C-C} : Fréquence de vibration des liaisons chimiques C-C.

d : distance moyenne entre les axes des molécules.

l : Longueur de la projection des liaisons C-C sur l'axe des molécules.

n : Nombre d'atomes de carbone dans la molécule.

ρ : Densité du liquide.

M : Masse moléculaire du liquide - A : nombre d'Avogadro

Les théories de Lewis et d'Adamczewski peuvent expliquer la variation expérimentale de la rigidité diélectrique impulsionnelle des hydrocarbures liquides très purs, en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques.

Il existe aussi d'autres théories électroniques de claquage des liquides et dont la formulation générale est très proche de la théorie de Townsend pour la disruption des gaz. Ces théories restent encore peu [5].

B- Mécanisme de claquage avec phase gazeuse :

Dans les liquides ultra purs, et en géométrie pointe plan, sous tension continue, il a été observé, qu'à partir d'un certain seuil de tension, des bulles gazeuses se forment au voisinage de la pointe, puis sont violemment chassées vers le plan [9]. Cette phase gazeuse résulterait soit de la vaporisation et de la nucléation des bulles, soit de la cavitation. Dans ce mécanisme il y'a deux sous mécanismes :

a- Mécanisme thermique :

D'après Watson et Sharbaugh, une bulle de vapeur est générée dans le liquide par une injection de courant à partir d'aspérités sur la cathode. Ce courant a la forme suivante :

$$I = AV^n$$

(1.9)

Avec :

A : cste

$$1.5 \leq n \leq 2$$

V : La tension

b- Mécanisme de cavitation :

Si un liquide est chauffé à pression constant (ébullition), ou s'il est soumis à une dépression à température constante (cavitation), il apparaît des bulles ou cavités de vapeur ou de mélange de vapeur et gaz. La cavitation désigne la séquence de formation, d'expansion de la

cavité Elle peut se produire dans le liquide ou sur les parois. [10].

C-Mécanisme de claquage par pont :

Dans les isolants liquides utilisés en technique, peuvent apparaître, en suspension, des impuretés de différentes natures (bulles de gaz, gouttelettes d'eau, particules solides isolantes ou conductrices). La présence d'impuretés conduit au renforcement local du champ électrique. La déformation du champ dépend de plusieurs paramètres comme : forme et dimensions des impuretés, intervalle et forme des électrodes, permittivité et conductivité des impuretés, concentration des impuretés entre les électrodes, valeur des charges libres existant à la surface des particules. Le champ local (E local.) est généralement déterminé en attribuant aux impuretés des géométries simples (sphères, ellipsoïde). L'élévation du champ peut conduire à des claquages partiels dans le liquide, dans le cas des impuretés solides conductrices. Dans le cas des impuretés solides isolantes, celles-ci se polarisent dans le champ électrique et tendent à se déplacer vers les zones où le champ est le plus intense (ϵ impuretés solides $> \epsilon$ liquide). Si on considère des particules sphériques polarisées, de permittivité ϵ_p , la force agissant sur une particule serait [10] :

$$F = \frac{1}{2} \cdot r^3 \cdot \frac{\epsilon_p - \epsilon_L}{\epsilon_p + 2 \cdot \epsilon_L} \Delta \cdot E^2 \simeq \frac{1}{2} \cdot r^3 \cdot \Delta E^2 \quad (1.10)$$

ϵ_p : Permittivité de la particule.

ϵ_L : Permittivité du liquide.

E : Champ électrique.

r : Rayon de la particule.

Pour qu'un pont de particules se forme entre les électrodes, il faut que le temps d'application de la tension soit relativement long. Ce pont nécessite en effet une grande concentration d'impuretés au voisinage des électrodes. Quand ce pont relie les électrodes, il s'établit un fort courant circulant à travers ce pont, qui est plus conducteur que le liquide. On aura ainsi, un échauffement local important, pouvant engendrer le claquage. Le claquage peut aussi avoir lieu durant la formation du pont (champ élevé en tête de pont).

Parmi les théories de claquage par pont, la plus connue est celle de Kok [10]. Le critère établi par Kok, définit une valeur moyenne du champ électrique, au-dessus de laquelle la vitesse

des particules se dirigeant vers le domaine de champ maximum devient supérieure à celle des particules repoussées vers l'extérieur (ce qui augmente la concentration des particules). Cette valeur limite du champ définit selon Kok, la rigidité diélectrique du liquide pendant le claquage par pont :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{K \cdot T}{r^3}} \quad (1.11)$$

K : Constante de Boltzmann.

T : Température du liquide.

r : Rayon des particules impures.

I-3-2-2 Influence de différents paramètres sur la rigidité diélectrique :

Il existe plusieurs facteurs qui ont une influence sur la valeur du champ disruptif dans les liquides. Parmi ces facteurs, les plus importants sont les impuretés et les gaz dissous dans le liquide, la pression hydrostatique, la configuration des électrodes, la température, la durée d'application de la tension et l'état antérieur du liquide [10].

A- Humidité

La présence d'un peu d'humidité dans le liquide diminue considérablement la rigidité diélectrique de ce dernier [17].

B- Pression hydrostatique

L'augmentation de la pression hydrostatique améliore la rigidité diélectrique du liquide [5].

C- Distance entre électrode

En augmentant la distance entre électrodes, la tension de claquage augmente. Dans le cas de champ électrique non uniforme lorsque la tension appliquée dépasse un certain seuil, l'effet de Couronne apparaît (formation de streamers) [5].

D- Température

L'influence de la température est double. En augmentant la température, la concentration de gaz et de l'humidité diminue dans le liquide. Cependant, les conditions pour avoir un claquage thermoélectrique s'améliorent. Cette influence de double effet, fait apparaître un maximum local

dans la caractéristique représentant la variation de la tension de claquage en fonction de la température [5].

E- Nombre de claquages

Il a été observé par plusieurs chercheurs, que la tension de claquage de l'huile, dans un système de configuration donnée, augmentait en fonction du nombre d'essais, restait ensuite constante et puis diminuait. Le nombre d'essais variait de 20 à 40. Ceci peut être expliqué par l'élimination des bulles de gaz par les premiers claquages, cependant des claquages répétés et nombreux détériorent le liquide [5].

F- Influence des écrans

Pour améliorer la rigidité diélectrique d'un système d'isolation, soit qu'on recouvre les électrodes avec une couche mince isolante, soit qu'on introduit une barrière isolante entre les électrodes. Il existe une position optimale de la barrière dans l'intervalle, pour laquelle la rigidité du système est la plus élevée. Dans le cas du système pointe plan, l'augmentation est observée dans les cas de la pointe sous haute tension de polarité positive ou alternative 50Hz, lorsque la barrière est située à proximité de la pointe [5].

G- Durée d'application de la tension

Si la durée d'application de tension diminue, la tension de claquage augmente. Plus la durée d'application augmente, plus l'effet des différentes impuretés se fait ressentir et la tension de claquage diminue. Pour les temps inférieurs à 10 μ s, le claquage a un caractère électrique et pour les longues durées, il a un caractère thermoélectrique [5].

I-4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu général sur les catégories des diélectriques et les divers paramètres influant directement ou indirectement sur l'état d'isolement d'un diélectrique, peut nous aider de faire la sélection des bons isolants à partir de leurs caractéristiques électriques physico-chimiques, mécaniques...

Dans le chapitre qui suit on va donner aperçu général sur les disjoncteurs et les sectionneurs de haute tension, leurs différents types et classifications, leurs rôles ...etc.

Chapitre II

Généralités sur les disjoncteurs et les sectionneurs de haute tension

II-1 Introduction :

Le développement des réseaux de transport et des réseaux industriels place les disjoncteurs haute tension dans des conditions de fonctionnement beaucoup plus sévères. Un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel d'un réseau à haute tension, car il est seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et donc d'éviter que le matériel connecté sur le réseau soit endommagé par ce court-circuit [2].

Les disjoncteurs à haute tension sont des éléments clés du réseau électrique, leur rôle repose sur une approche de sécurité préventive. Ils consistent à interrompre le courant dans toutes les situations (normales ou anormales) et à protéger les personnes, le circuit, ainsi que tous les appareils connectés à celui-ci [11].

La présence du disjoncteur prend toute son importance :

- Il permet de rapidement reconfigurer le réseau et minimise les dommages possibles [2].
- Il permet de protéger la partie en aval, soit d'une façon volontaire ou involontaire suite à un défaut dans cette partie [2].

II-2 Généralités sur les réseaux électriques :

Sur un réseau électrique, l'interruption du courant s'avère quelques fois nécessaire. Que ce soit de façon volontaire comme lorsqu'il est nécessaire d'isoler une partie du réseau pour y effectuer des travaux ou de façon accidentelle, en cas de foudre, de vents violents ou de séisme par exemple, la présence du disjoncteur prend toute son importance : il permet de rapidement reconfigurer le réseau et minimise les dommages possibles, conséquences directes des excès de courant qui se développent dans ces situations. Des vies humaines et le matériel (assez coûteux) en aval peuvent donc être ainsi protégés [12].

L'appareillage électrique d'interruption à haute tension concerne les réseaux alimentés soit en courant alternatif sous des tensions supérieures à 1 000 V, soit en courant continu sous des tensions supérieures à 1 500 V [13].

La parfaite maîtrise de l'énergie électrique exige de posséder tous les moyens nécessaires à la commande et au contrôle de la circulation du courant dans les circuits qui vont des centrales de production jusqu'aux consommateurs. Cette délicate mission incombe fondamentalement à l'appareillage électrique. Son rôle est d'assurer en priorité la protection automatique de ces circuits

contre tous les incidents susceptibles d'en perturber le fonctionnement, mais aussi d'effectuer sur commande les différentes opérations qui permettent de modifier la configuration du réseau dans les conditions normales de service.

L'appareillage électrique permet d'adapter, à chaque instant, la structure du réseau aux besoins de ses utilisateurs, producteurs et consommateurs d'électricité, et de préserver, totalement ou partiellement, cette fonction en cas d'incident. C'est assez dire l'importance du rôle de l'appareillage électrique à haute tension pour la manœuvre et la protection du réseau. Il faut qu'il soit disponible à tout moment et puisse intervenir sans défaillance, au point de faire oublier qu'il existe [13].

II-2-1 Les appareils de connexion dans un réseau électrique :

Symboles normalisés pour la représentation des appareils de connexion	
Symbole	Désignation
	Sectionneur
	Sectionneur à deux directions avec position d'isolement Médiane
	Interrupteur
	Interrupteur-sectionneur
	Contacteur
	Fusible dont l'extrémité qui, après fusion, demeure sous tension est indiquée par un trait renforcé
	Interrupteur triphasé à ouverture automatique par l'un quelconque des fusibles à percuteur
	Disjoncteur
	Parafoudre
	Varistance (parasurtenseur à oxyde de zinc par exemple) : 1 symbole normalisé 2 symbole couramment utilisé.

Tableau II 1 Symboles normalisés pour la représentation des appareils de connexion [13]

II-3 Les disjoncteurs de haute tension :

II-3-1 Définition d'un disjoncteur de haute tension

Selon la définition donnée par la CEI, un disjoncteur à haute tension est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège) à la fois :

- Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique.

- Dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit dû à la foudre.

Grâce à ses caractéristiques, un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel d'un réseau à haute tension, car il est le seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et donc d'éviter que le matériel connecté sur le réseau soit endommagé par ce court-circuit [2].

II-3-2 Principe de fonctionnement d'un disjoncteur :

Dans le disjoncteur se trouvent des électrodes, initialement en contact, parcourues par le courant du réseau. Le disjoncteur est calibré de telle sorte que lorsque le courant dépasse une valeur seuil, les électrodes s'écartent (en cas de défaut). L'ouverture du circuit entraîne la formation d'un arc électrique entre les électrodes. L'arc étant conducteur, le courant électrique continue de circuler. Mais un soufflage énergétique de l'arc par le gaz froid fortement comprimé favorisera l'extinction de l'arc lors du passage à zéro du courant [12].

II-3-3 Le rôle d'un disjoncteur de haute tension :

Un disjoncteur est un organe électromécanique, de protection, dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation [14].

Alors on peut exprimer le rôle d'un disjoncteur haute tension dans les points suivants :

- Destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège) ;
- Connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique ;
- Éliminer un court-circuit (conditions anormales spécifiées, foudre...) [15].

II-3-4 Classification des disjoncteurs de haute tension :

On peut classer les disjoncteurs haute tension selon les trois critères suivants :

- Le milieu de coupure ;
- L'utilisation du disjoncteur dans le système électrique ;
- Le type de l'installation.

II-3-4-1 selon Le milieu de coupure :

A- Disjoncteur à huile :

Dans un disjoncteur à huile l'arc décompose celle-ci en formant des gaz constitués principalement d'hydrogène (70 %) et d'acétylène (20 %). L'énergie d'arc étant consommée par la vaporisation et la décomposition de l'huile, l'arc se refroidit et s'interrompt au voisinage du passage par zéro du courant. La haute conductivité thermique de l'hydrogène permet de refroidir énergiquement l'arc, ce qui favorise une régénération diélectrique très rapide du milieu inter électrodes, parmi les inconvénients de ce disjoncteur on a [16].

- Niveau de sécurité et de maintenance élevé pour contrôler la dégradation des propriétés diélectriques.
- De l'huile et l'usure des contacts.
- La décomposition de l'huile à chaque coupure est un phénomène irréversible.



- Risque d'explosion et d'inflammation.

Figure II-1 Disjoncteur a huile

B- Disjoncteur à air comprimé

Les disjoncteurs à air comprimé utilisent l'écoulement de l'air à travers des tuyères pour refroidir l'arc et obtenir sa déionisation. Les pouvoirs de coupure les plus élevés exigés ont pu être atteints en augmentant la pression (30 à 50 bar) [16].

La dernière génération de disjoncteurs de ce type comporte des pôles entièrement et en permanence sous pression (figure 5). Les tuyères sont métalliques et à double soufflage. Les valves situées en aval des tuyères sont manœuvrées par des tringles. Cette disposition a permis de réduire

la durée de coupure à 60 Hz (16,7 ms), ce qui est nécessaire en très haute tension pour maintenir la stabilité du réseau en cas de défaut [16].

Les disjoncteurs à air comprimé exigent un entretien régulier, en particulier des stations de compression.

La technique de coupure à air comprimé est bien adaptée aux fonctionnements à très basse température, car il n'y a pas de risque de liquéfaction du gaz de coupure. Pour cette raison, ces disjoncteurs sont encore largement utilisés au Canada [16].



Figure II-2 Disjoncteur à air comprimé

Cette technique de coupure est actuellement la seule utilisée pour les disjoncteurs de générateurs à très fort pouvoir de coupure (275 kA sous 36 kV) [16], parmi les inconvénients de ce disjoncteur on a

- Nécessité d'une station d'air comprimé.
- Bruit violent.
- Appareil plus cher.

C- Disjoncteur avec ampoules à vide :

Les premières applications industrielles ont été réalisées à la fin années 1950 lorsque les difficultés technologiques de mise en œuvre furent résolues, notamment la garantie d'un vide poussé

pendant au moins vingt ans, ce qui nécessite une étanchéité parfaite de l'ampoule, l'inconvénient de ce genre de disjoncteurs est qu'ils sont en service jusqu'à 84 kV, au Japon, le pouvoir de coupure d'un disjoncteur à vide peut atteindre 63 kA [11].



Figure II-3 Ampoule à vide pour disjoncteur à moyenne tension

D- Disjoncteur à gaz SF₆ (Hexafluorure de soufre) :

L'utilisation du SF₆ pour l'isolation a été brevetée aux États-Unis par Franklin Cooper de General Electric en 1938, et son utilisation pour l'interruption d'un courant a été revendiquée aussi en 1938 dans un brevet allemand par Vitaly Grosse de AEG (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft).

La première application industrielle du SF₆ pour la coupure date de 1953, elle a été faite par Westinghouse pour des interrupteurs en charge à haute tension 15 kV à 161 kV avec un pouvoir de coupure de 600 A [16].

La première réalisation d'un disjoncteur SF₆ haute tension a été faite en 1956 par Westinghouse mais le pouvoir de coupure était alors limité à 5 kA sous 115 kV (1000 MVA) et cet appareil devait avoir de nombreux éléments de coupure en série par pôle pour assurer les performances (six chambres de coupure en série) [16].



Figure II-1 Disjoncteur à gaz SF6 (Hexafluorure de soufre).

E- Disjoncteur auto-pneumatique :

Le principe du soufflage auto-pneumatique s'est développé au cours des années 1970 et au début des années 1980 pour répondre aux spécifications les plus exigeantes et développer des appareils de plus en plus performants [16].

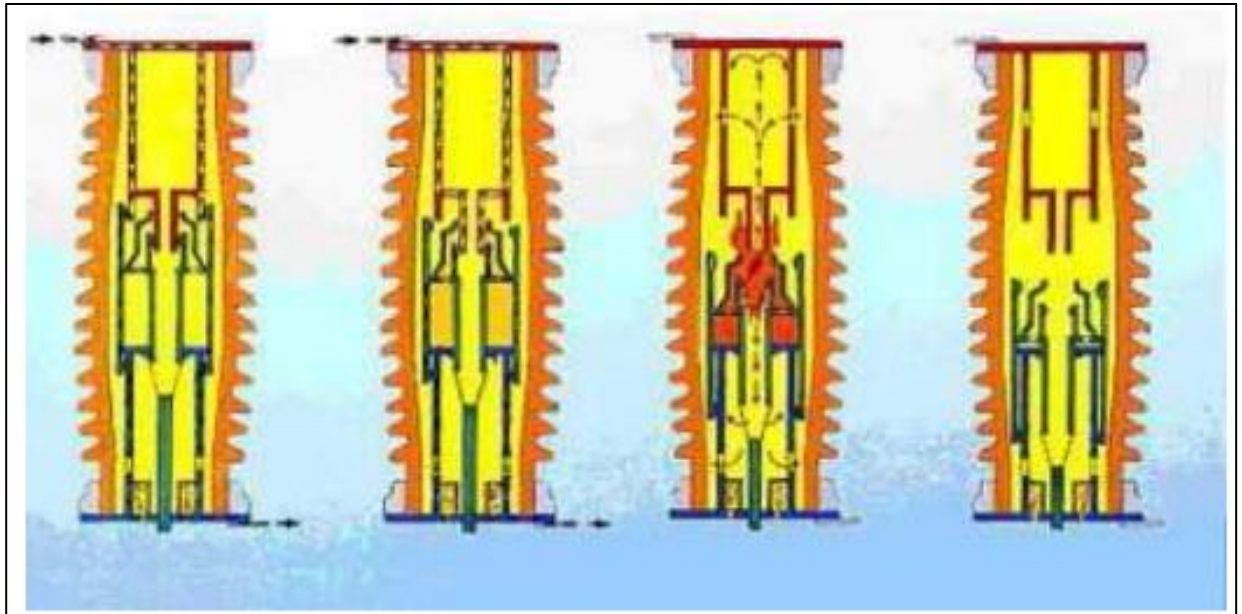


Figure II-2 Principe des disjoncteurs auto-pneumatiques.

II-3-4-2 selon l'utilisation :

On peut aussi classer l'appareillage en fonction de son utilisation.

A- Disjoncteurs de ligne :

Comme leur nom l'indique, ils sont chargés de manœuvrer les lignes des réseaux à haute tension et, à ce titre, ils doivent posséder la plupart des performances pouvant être exigées d'un disjoncteur à haute tension. Dans des conditions normales de service, ils sont utilisés pour l'ouverture ou la fermeture des lignes. Ils doivent être capables d'effectuer ces manœuvres sans provoquer de surtensions excessives sur le réseau. En particulier, un disjoncteur de ligne doit posséder un pouvoir de coupure et de fermeture de lignes à vide.

Ces disjoncteurs doivent aussi être capables d'interrompre les défauts qui se produisent sur une ligne, ou directement à ses bornes, et qui donnent lieu à de forts courants de court-circuit [16].

B- Disjoncteurs de générateurs :

Ces disjoncteurs sont connectés entre un générateur et le transformateur élévateur de tension. Ils sont généralement utilisés à la sortie des générateurs de forte puissance (100 à 1 800 MVA), pour les protéger de manière sûre, rapide et économique. Des particularités importantes caractérisent ces disjoncteurs et font qu'ils sont notablement différents des disjoncteurs de ligne [16].



Figure II-3 Disjoncteurs de générateurs.

C- Disjoncteurs de réactances :

Ces disjoncteurs manœuvrent quotidiennement des réactances qui sont utilisées pour le réglage de la charge réactive dans une ligne. Ils doivent être capables d'effectuer ces manœuvres sans provoquer de surtensions sur le réseau. Dans les réseaux à très haute tension où le niveau de surtension admissible est relativement faible (1,6 pu. en 800 kV), une solution éprouvée consiste à munir le disjoncteur de parafoudres à oxyde de zinc [16].

II-3-4-3 selon l'installation :

Selon la possibilité d'installation, on distingue trois types de disjoncteurs HT

A- Le disjoncteur ouvert :

Dont l'isolation externe est faite dans l'air (fig.2.1), il doit être capable de fonctionner dans climatiques et atmosphériques contraignantes [16].



Figure II 4 Disjoncteur ouverts : 245 kV ; 40 kA ; 50 Hz.

B- Les disjoncteurs sous enveloppe métallique ou blindés :

Muni d'une enveloppe métallique, reliée à la terre, qui permet d'éviter tout contact accidentel avec les pièces sous tension. Le disjoncteur fait partie d'une cellule isolée au SF6 qui comprend les différents organes nécessaires au fonctionnement du poste : disjoncteur, jeu de barres, sectionneur de jeu de barres, sectionneur de terre, transformateur de courant. Postes sous enveloppe métallique (PSEM) [16].

C- Les disjoncteurs hybrides :

Dit « Dead Tank », dont l'isolation des parties actives est faite dans le SF6 à l'intérieur d'une cuve métallique et dont le raccordement au réseau est fait par l'intermédiaire de traversées isolantes. Cette disposition permet de placer les transformateurs de courant directement aux bornes du disjoncteur, en des points qui ne nécessitent pas d'isolation électrique [16].

II-3-5 Description générale d'un disjoncteur à haute tension :

Un disjoncteur à haute tension est composé de trois parties principales (fig. 1.1) :

1. Partie électrique active.
2. Partie commande.
3. Partie Contrôle [17].

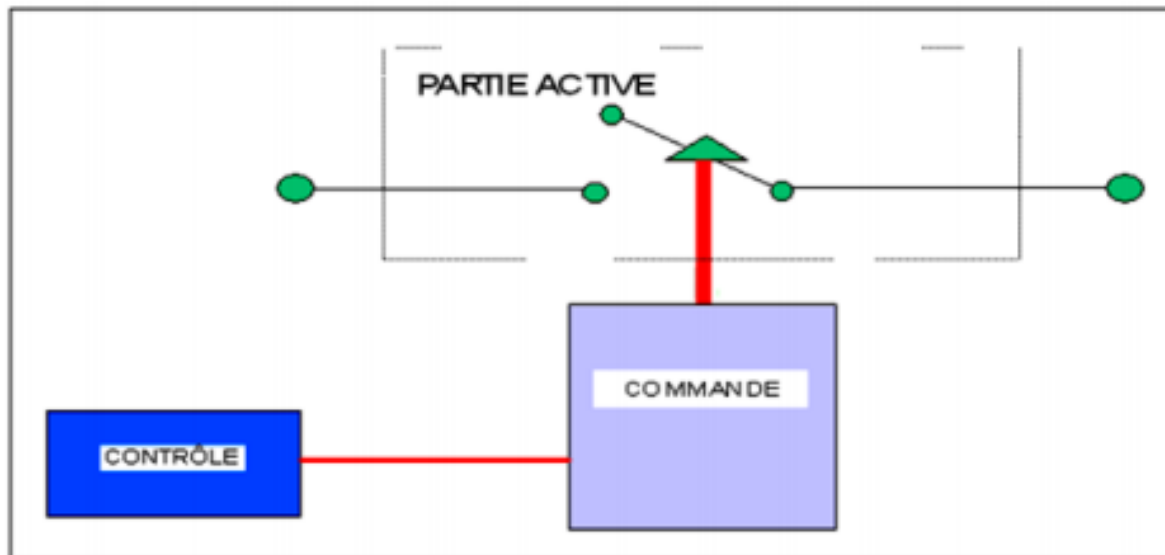


Figure II-5 Les parties principale d'un disjoncteur de haute tension.

A- Partie active :

C'est la partie où le courant est établi ou interrompu dans le circuit principal, elle est constituée d'une chambre fermée contenant un contact fixe et un autre mobile dans un milieu liquide ou gazeux appelé milieu de coupure et dont l'établissement ou l'interruption du courant se réalise par la mise en contact de ces deux contacts ou leur séparation.

Pour un disjoncteur triphasé, chacune des phases possède au moins une partie active.

Pour des niveaux de tensions nominales élevées, la partie active peut être composée de plusieurs chambres identiques connectées en série et commandées simultanément de façon à produire un seul contact électrique, dans ce cas des condensateurs de répartition sont installés en parallèle avec chaque chambre pour la répartition de la tension afin de réduire les usures excessives des contacts au détriment des autres [17].

B- Partie commande :

C'est la partie où est développée l'énergie nécessaire pour réaliser le déplacement du contact mobile et réussir les opérations mécaniques tant à l'ouverture qu'à la fermeture.

La commande comporte des dispositifs à accumulation d'énergie appelés les accumulateurs d'énergie, dont le rôle est d'accumuler l'énergie nécessaire pour la coupure ou la fermeture et la maintenir prête à livrer lorsqu'elle est demandée [1].

Trois types de commandes sont populaires dans le monde des disjoncteurs à haute tension

- Commande pneumatique
- Commande hydraulique
- Commande mécanique à ressort

C- Partie Contrôle

C'est la partie où les commandes d'opération sont initiées à partir d'une impulsion électrique d'une durée de fraction de seconde sur une bobine dans le mécanisme de commande. Celui-ci amplifie cet ordre en une opération de la disjonction en libérant l'énergie nécessaire emmagasinée préalablement dans les accumulateurs d'énergie pour effectuer la coupure ou la fermeture.

Cette partie comprend aussi les bobines d'enclenchement et de déclenchement, le système de relayage basse tension, les divers capteurs (de pression, de fin de course, etc.) nécessaires pour effectuer la surveillance et le contrôle du fonctionnement [17].

II-3-6 Les caractéristiques assignées d'un disjoncteur de haute tension :

Un disjoncteur à haute tension est caractérisé par les différentes caractéristiques comme les contraintes électriques où il doit fonctionner normalement sous leurs valeurs assignées [18].

- **Le pouvoir de fermeture assigné.**
- **Le pouvoir de coupure assigné.**
- **La tension transitoire de rétablissement (TTR) assignée.**
- **Tension assignée :** la tension assignée d'un disjoncteur de haute tension est la valeur maximale de la tension du réseau dans lequel il peut être installé [19].
- **Niveaux d'isolement assignés** le niveau d'isolement fixe la tenue diélectrique des matériels de manœuvre et l'onde de choc de foudre. Il est caractérisé par deux valeurs [19]
 - La tenue à l'onde de choc (1,2/50 μ s).
 - La tenue à la fréquence industrielle pendant une minute.
- **Fréquence assignée :** la fréquence assignée est la valeur nominale du réseau où le disjoncteur de haute tension est destiné à fonctionner avec des fréquences nominales 50 et 60 Hz,
- **Courant assigné en service continu :** le courant assigné en service continu correspond au courant dans lequel le disjoncteur HT peut supporter indéfiniment et permanent pour les conditions normales de service,

- **Courant d'une courte durée admissible et assigné** : le courant de courte durée admissible caractérise la capacité d'un appareil à supporter [19]
 - Un courant de court-circuit donné pendant un temps donné.
 - Une amplitude maximale du courant lors de ce court-circuit.
- **La séquence des manœuvres assignée** : une séquence de manœuvres est une succession de manœuvres spécifiées d'un disjoncteur à des intervalles de temps donnés [20].

II-3-7 Dimensionnement des disjoncteurs :

Le dimensionnement d'un disjoncteur est un travail complexe. On rappelle que le disjoncteur est le seul appareil qui possède un pouvoir de coupure en court-circuit ce qui rend son dimensionnement très délicat, car il y a davantage de contraintes à prendre en compte pour obtenir la performance de coupure et la stabilité du réseau électrique suite à son fonctionnement [21].

L'art de conception et de dimensionnement du disjoncteur consiste à donner des valeurs optimales aux différents paramètres de coupure afin d'obtenir les performances assignées à l'appareil avec un encombrement et une énergie de manœuvre aussi réduits que possible, mais suffisants pour conserver une marge de sécurité tenant compte des dérives potentielles des caractéristiques lors de la production [2].

II-3-8 Les critères de dimensionnement :

- La modélisation d'arc électrique.
- La tension maximale à ne pas dépasser pour assurer la tenue diélectrique.
- La température limite de gaz lors de l'extinction de l'arc dans la chambre de coupure.
- Des règles empiriques obtenues en combinant des connaissances sur la physique de l'arc.
- Des règles de dimensionnement des pièces conductrices du courant permettant de ne pas dépasser les limites d'échauffement admissibles.
- Une valeur d'énergie maximale pouvant être dissipée dans la résistance lors de la fermeture.
- Déterminer la valeur de la capacité shuntée en parallèle avec la chambre de coupure pour améliorer la tenue diélectrique [21].

II-4 Les sectionneurs de haute tension :

Ce sont avant tout des organes de sécurité utilisés pour ouvrir ou fermer un circuit lorsqu'il n'est pas parcouru par un courant, et prévus pour isoler, par rapport au reste du

réseau, un ensemble de circuits, un appareil, une machine, une section de ligne ou de câble, afin de permettre au personnel d'exploitation d'y accéder sans danger.

En principe, les sectionneurs n'ont pas à interrompre de courants ; cependant, certains sectionneurs peuvent être amenés à couper des courants de transfert de barres (jusqu'à 1 600 A sous 10 à 300 V) et les sectionneurs de terre doivent être capables de couper les courants induits qui peuvent circuler dans les circuits hors tension par couplage capacitif et inductif avec les circuits adjacents sous tension (jusqu'à 160 A sous 20 kV) [13].

II-4-1 Définition :

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. Le sectionneur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture. Le sectionneur pour satisfaire aux normes en vigueur doit pouvoir être condamné en position ouverte. [22]

Le rôle de sectionneur est assuré la mise hors tension de tout ou partie d'une installation en séparant de toute source d'énergie électrique. Et d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique.



Figure II-6 Sectionneur haute tension

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.

II-4-2 Constitution générale :

Le sectionneur peut être décomposé en deux parties :

- Une partie puissance : ce sont les pôles repérés sur le symbole et l'appareillage par des chiffres allant de 1 à 6 (ou de 1 à 8 pour les sectionneurs tétra polaires).
- Une partie commande : Ce sont les contacts auxiliaires repérés 13-14, 23- 24 ; ils permettent de couper le circuit de commande. Lors de l'ouverture, ces contacts s'ouvrent en premier et se ferment en dernier lors de la fermeture [23].

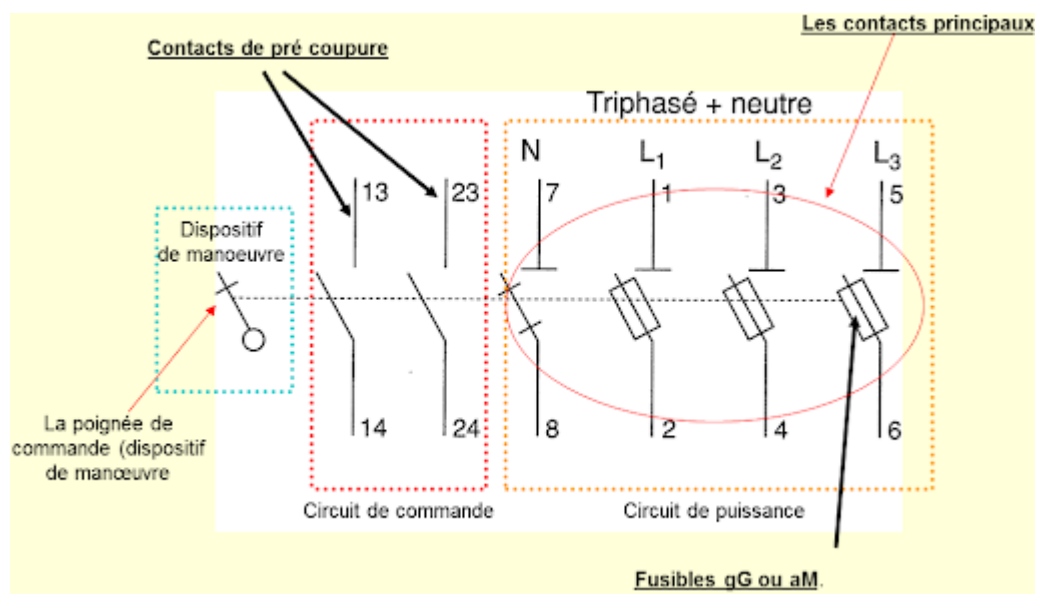


Figure II-7 schéma électrique d'un sectionneur

II-4-3 Principe de fonctionnement du Sectionneur :

Il est censé de mettre hors tension une installation électrique ou une partie de cette installation en toute sécurité électrique ; n'ayant pas de pouvoir de coupure, quand le

sectionneur est manœuvré, le courant doit être nul ; ce qui permet, par exemple, de condamner un circuit électrique (avec cadenas le cas échéant) afin de travailler en toute sécurité [24].

II-4-4 Ses caractéristiques principales :

- Intensité maximum supportée par les pôles de puissance
- Tension maximum d'isolement entre les pôles de puissance
- nombre de pôles de puissance (tripolaire ou tétrapolaire)
- nombre de contact de pré-coupure
- Peut être avec ou sans manette
- Peut être avec ou sans système de détection de fusion de fusible
- S'installe majoritairement en tête d'une installation électrique.
- Permet d'isoler un circuit électrique du réseau d'alimentation.
- Est un organe de sécurité lors d'une intervention de maintenance ; cadenassé en position ouverte par un agent de maintenance, il interdit la remise en route du système
- Peut être manipulé depuis l'extérieur de l'armoire électrique grâce à une poignée

On doit noter qu'un sectionneur porte fusible, contrairement à l'interrupteur sectionneur, n'a pas de pouvoir de coupure : il ne permet pas de couper un circuit électrique en charge (moteur électrique en rotation, résistances de chauffage alimentées...) ; l'interrupteur sectionneur, à la différence du sectionneur porte-fusibles, n'a pas de fusible associé, il faudra donc rajouter dans le circuit un système de protection contre les courts-circuits [25].

II-4-5 Différents organes :

A- Contacts principaux (1-2), (3-4) et (5-6)

Permettent d'assurer le sectionnement de l'installation.

B- Contacts auxiliaires (13-14), (23-24)

Ils permettent de couper le circuit de commande des contacteurs avant l'ouverture des contacts principaux. L'ouverture du circuit de commande de l'équipement entraînant l'ouverture de son circuit de puissance, celui-ci n'est donc jamais ouvert en charge. Après la

fermeture des contacts principaux, et inversement à la mise sous tension, le contact auxiliaire est fermé.

C- Poignée de commande

Celle-ci peut être verrouillée en position ouverte par un cadenas (sécurité).

D- Fusibles

Ils assurent une protection contre les surcharges et les courts-circuits dans l'installation ou l'équipement électrique [25].

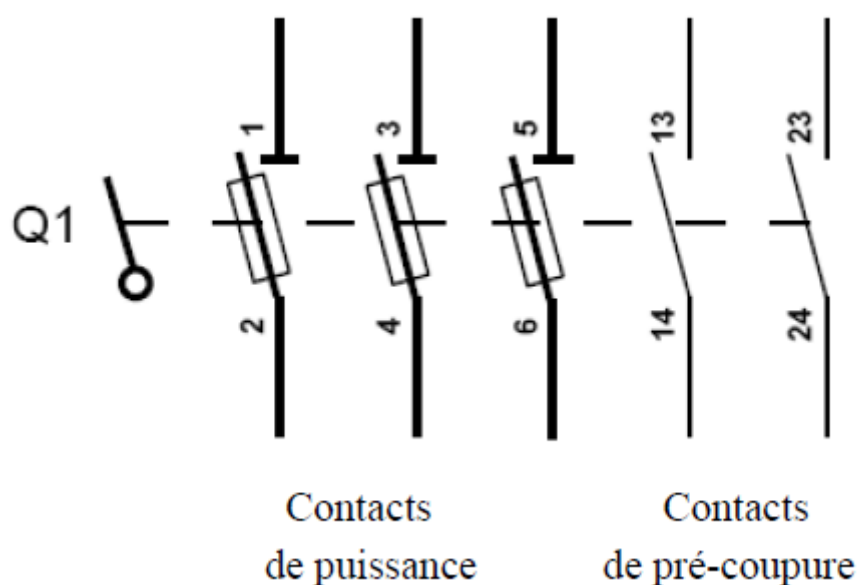
II-4-6 Différents types des sectionneurs :

II-4-6-1 Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact(s) de pré-coupure avec poignée extérieure :

A utiliser dans un circuit triphasé (sans neutre) ; Les contacts de pré-coupure permettent d'isoler la partie du circuit.

II-4-6-2 Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact de neutre et de pré-coupure avec poigné extérieure :

A utiliser dans un circuit triphasé avec neutre ; le neutre du sectionneur ne doit pas contenir de fusible, mais une barrette de neutre prévue à cet effet.



Le sectionneur ouvert, il n'y a plus de tension nulle part dans l'installation qui en dépend, sauf sur les bornes 1, 3, 5 [24].

II-4-6-3 Sectionneurs BT domestiques :

La fonction sectionneur est obligatoire au départ de chaque circuit est réalisée par des sectionneurs à fusibles incorporés.

II-4-6-4 Sectionneurs BT industriels :

Ces appareils assurent la fonction de sectionnement au départ des équipements. En général des derniers comportent des fusibles et des contacts auxiliaires.

II-4-6-5 Sectionneurs MT et HT :

Sont très employés dans les réseaux de moyenne et haute tension pour garantir l'isolement des lignes et des installations avec coupure visible [24].

II-5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu général premièrement sur les disjoncteurs de haute tension, on a commencé par la définition et le rôle d'un disjoncteur, ainsi le principe de fonctionnement et les classifications des disjoncteurs de haute tension ...etc.

Et deuxièmement on a parlé sur les sectionneurs de haute tension

Dans le chapitre suivant on va essayer de réaliser un sectionneur de haute tension commandé par un Arduino UNO et faire des tests pratiques sur ce dernier.

Chapitre III

Etude et réalisation d'un sectionneur de haute tension

III-1 Introduction :

Dans les deux premiers chapitres on a parlé sur les matériaux diélectriques et les disjoncteurs on haute tension respectivement, et ce dernier chapitre sera consacré à la réalisation d'un sectionneur en haute tension pour le faire nous avons besoin de certaines choses telles qu'un servo moteur et un Arduino pour le commander, deux éclateur sphérique, tuyau et autres composants que nous allons citer ci-dessous, enfin nous allons faire des tests pratiques sur ce sectionneur.

III-2 Réalisation d'un sectionneur commandé :

III-2-1 Description des matériaux exploités :

III-2-1-1 Arduino

a- Carte Arduino :

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes des cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et peu couteux à l'informatique embarquée. De plus, elles sont entièrement libres de droit, autant sur l'aspect du code source (Open Source) que sur l'aspect matériel (Open Hardware). Ainsi, Par, vous pouvez refaire votre propre carte Arduino pour l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet. La différence entre le langage Arduino et les langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée est sa simplicité. En effet, beaucoup de librairies et de fonctionnalités de base occulte certains aspects de la programmation de logiciel embarquée afin de gagner en simplicité, L'UNO est la carte la plus utilisée et la plus documentée de toute la famille Arduino.

b- Présentation du carte Arduino :

L'Arduino est une carte électronique en matériel libre pour la création artistique interactive, elle peut servir : pour des dispositifs interactifs autonomes simple, comme interface entre capteurs/actionneurs et ordinateur et comme programmeur de certains microcontrôleurs

Comme toutes les cartes de microcontrôleur, les cartes Arduino peuvent être utilisées pour piloter Le système de manière interactive à partir du programme que nous avons défini et intégré Mémoire. Par exemple, la gestion automatique de l'ouverture des portes de garage envoyer un SMS quand le jardin est trop sec et gérer le système d'arrosage à distance, piloter un nouveau robot. Il faut pour cela associer à la carte Arduino des capteurs comme capteur de

lumière, de température et de position. Et des actionneurs comme moteurs et pompe, ainsi des organes de sortie comme lampe et chauffage. On peut associe aussi des circuits de puissance,

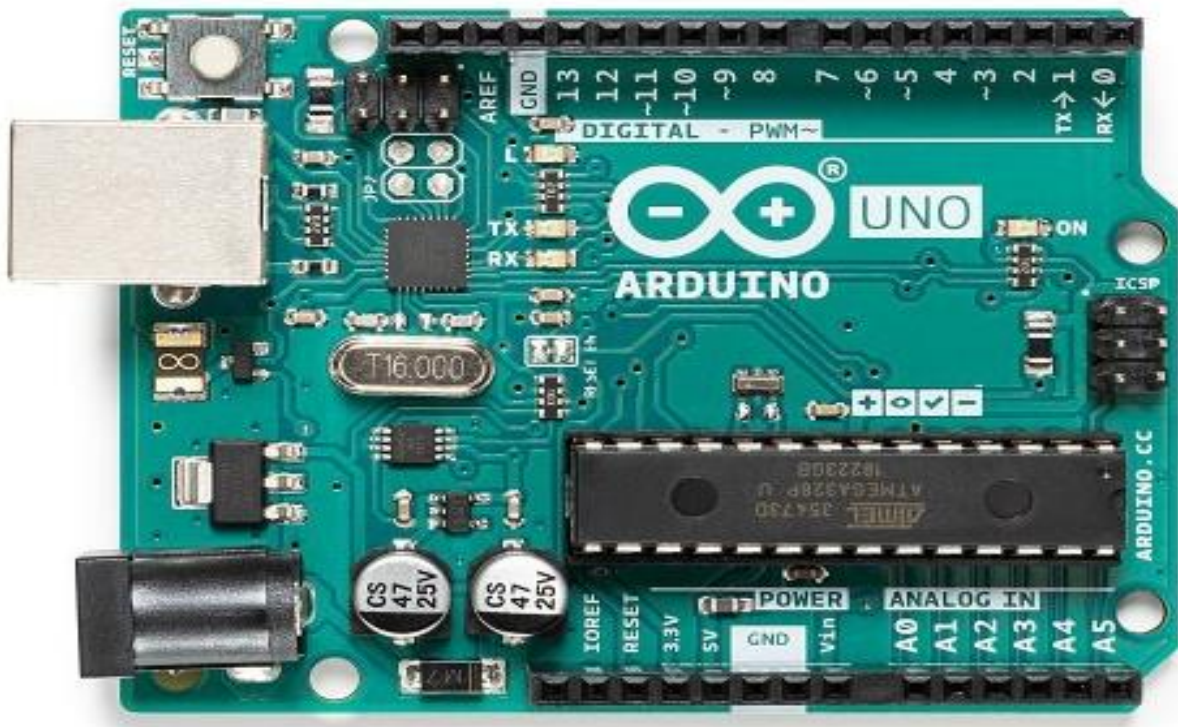


Figure III-1 Arduino UNO

une alimentation (piles, panneaux solaire, ...), des interfaces de dialogue (boutons, leds, écran,), des interfaces de communication (réseau filaire, réseau sans fil, ...)

c- Historique de carte Arduino :

Le projet Arduino est né en hiver 2005. Massimo Banzi enseigne dans une école de design à Ivrea en Italie, et souvent ses étudiants se plaignent de ne pas avoir accès à des solutions bas prix pour accomplir leurs projets de robotique. Banzi en discute avec David Cuartielles, un ingénieur Espagnol spécialisé sur les microcontrôleurs.

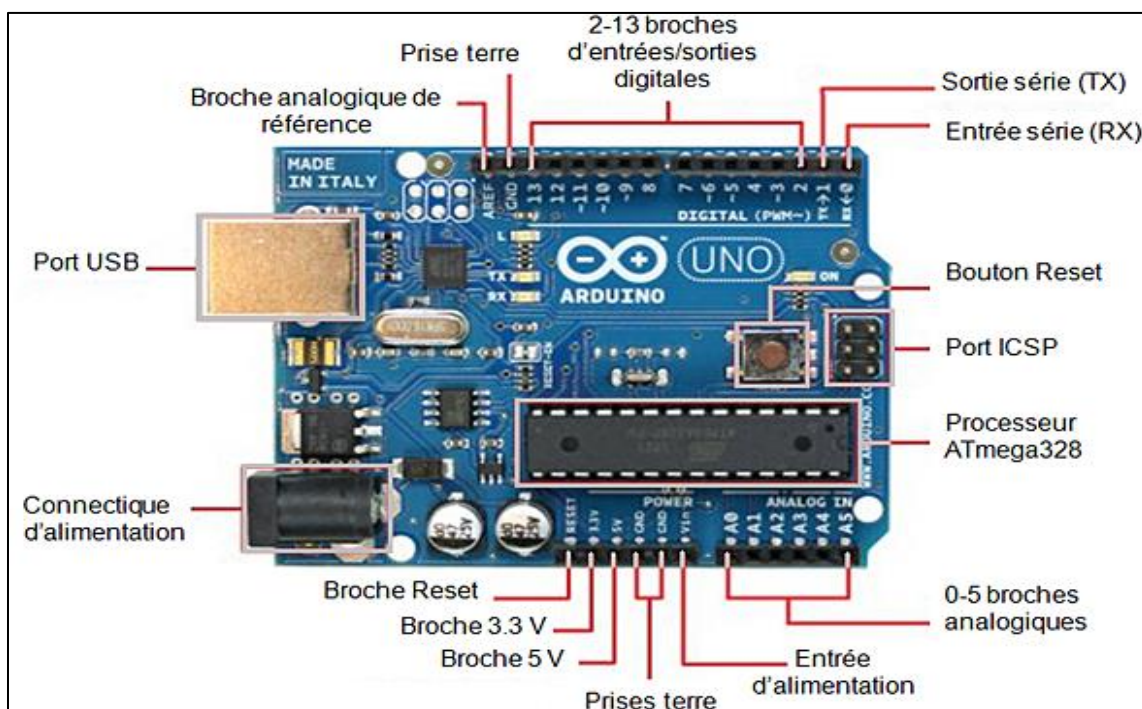
Ils décident de créer leur propre carte en embarquant dans leur histoire un des étudiant de Banzi, David Mellis qui sera chargé de créer le langage de programmation allant avec la carte. En deux jours David écrira le code, trois jours de plus et la carte était créé. Tout le monde arrive à en faire quelque chose très rapidement sans même avoir de connaissances particulières ni en électronique ni en informatique : réponse à des capteurs, faire clignoter des leds, contrôler des moteurs ... etc. ils publient les schémas, investissent 3000 euros pour créer les premiers lots de cartes [26].

d- Description d'une carte Arduino UNO :

L'Arduino est une famille de cartes électronique à microcontrôleur open-source née en Italie en 2005. Ces cartes sont basées sur une interface entrée/sortie simple et un environnement de développement est proche du langage C [26].

La carte Arduino UNO est la première version stable de la carte Arduino. Elle possède En plus d'être simple d'utilisation, il possède également toutes les fonctions d'un microcontrôleur classique. Elle utilise une puce ATmega328P cadencée à 16 Mhz. Elle possède 32ko de mémoire flash destinée à recevoir le programme, 2ko de SRAM (mémoire vive) et 1 ko d'EEPROM (mémoire morte destinée aux données) [26].

Elle offre 14 pins (broches) d'entrée/sortie numérique (donnée acceptée 0 et 1) dont 6 pouvant générer des PWM (Pulse Width Modulation). Elle permet aussi de mesurer des grandeurs analogiques grâce à ces 6 entrées analogiques. Chaque broche est capable de délivrer un courant de 40 mA pour une tension de 5V. Chaque broche peut Fournit un courant de 40 mA pour une tension de 5V. Cette carte Arduino peut également alimentez et communiquez avec l'ordinateur via son port USB. On peut aussi l'alimenter avec une alimentation comprise en 7V



et 12V grâce son connecteur Power Jack [26].

III-2-1-2 Servo Moteur TD-8120MG 20 Kg.cm :

Un servo très puissant, facile à contrôler. Il est livré avec quelques morceaux de plastique, vous pouvez l'installer dessus, puis vous pouvez installer d'autres choses.

Spécifications :

- L'intervalle de tension : 4,8 V ~ 6,6 V CC.
- Dimensions : 40x20x40,5 mm.
- Poids : 56g $\pm$ 5%.
- Vitesse à vide : 0,18 seconde/60 degrés (4,8 V) ; 0,14 s/60 degrés (6,6 V).
- Courant à vide : 210mA (4.8 V) 270mA (6.6).
- Couple: 18,5 kg · cm (4,8 V) ; 21,8 kg · cm (6,6 V).

Figure III-2 Description d'une carte Arduino UNO

- Imperméable (éclaboussures d'eau).
- Matériel engrenages : Métal

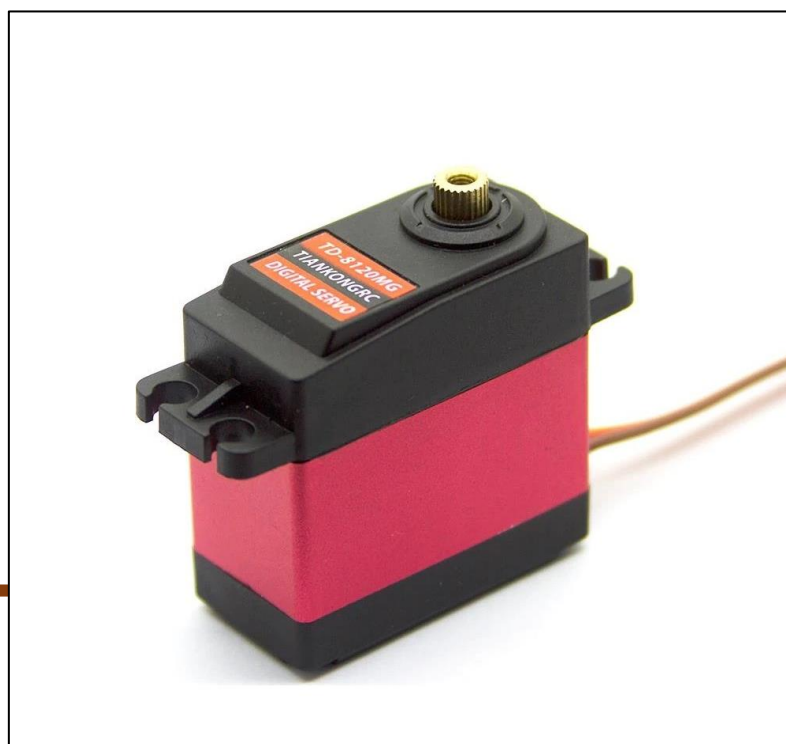


Figure III-3 Servo Moteur TD-8120MG 20 Kg.cm

III-2-1-3 Deux éclateurs sphériques :

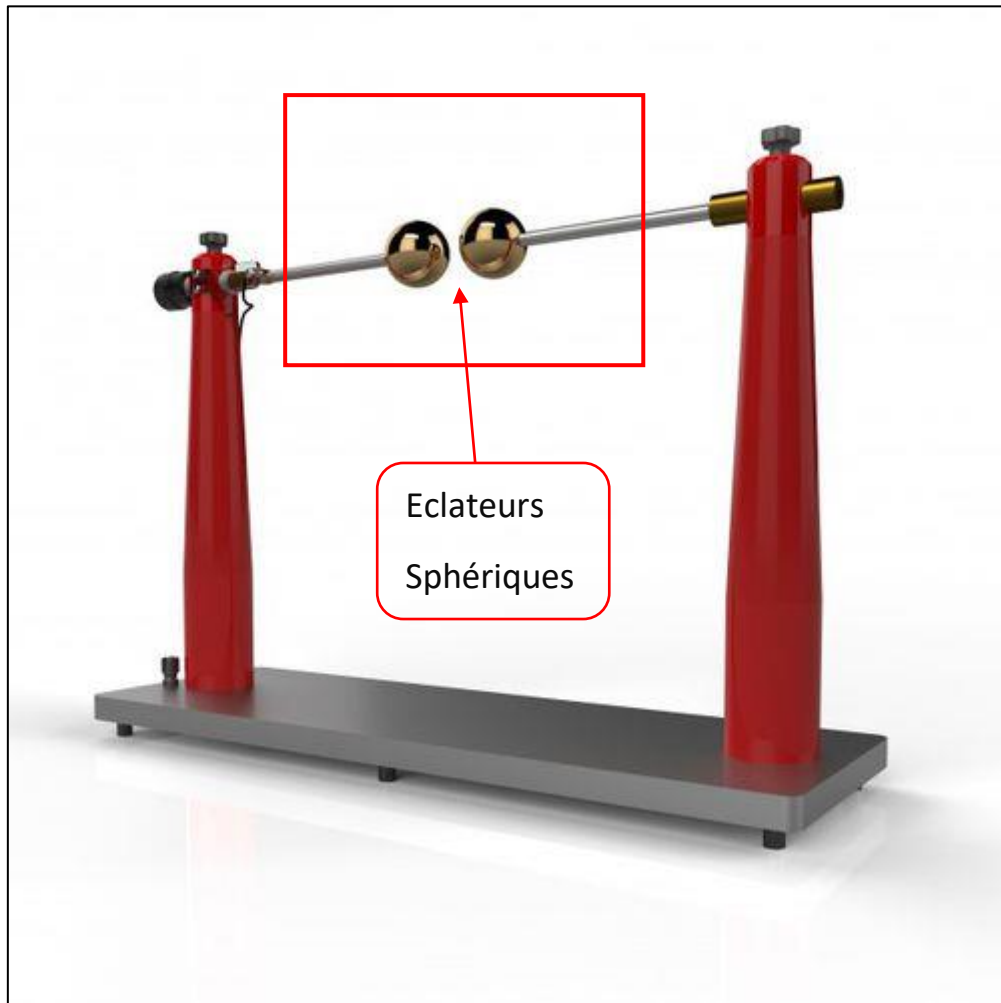


Figure III 4 Éclateurs sphériques

III-2-1-4 Bras robotique :

Ce bras robotique est attaché au Servo moteur de 20 kg à un extrémité pour le déplacer comme on veut vers le haut ou vers le bas, et attaché à un éclateur sphérique.

III-2-1-5 Bloc d'alimentation :

Dans ce bloc la tension varie de 0 à 15 Volts et on peut varie manuellement la valeur de tension comme on veut jusqu'à l'atteindre de la valeur de tension désiré.



Figure III-5 Bloc d'alimentation 15V

III-2-1-6 Un Ordinateur

Cet ordinateur est pour programmer L'Arduino à commander le Servo moteur, on ouvre l'application Arduino puis écrire le code de programmation, puis on attache L'Arduino à l'ordinateur par le port USB et on clique sur téléverser pour téléverser le programme à L'Arduino.

A- L'interface IDE de programmation Arduino:

L'environnement de développement intégré (IDE) Arduino est une application multiplateforme écrite dans des fonctions C et C++. Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino, mais aussi, à l'aide de cœurs tiers, sur des cartes de développement d'autres fournisseurs.

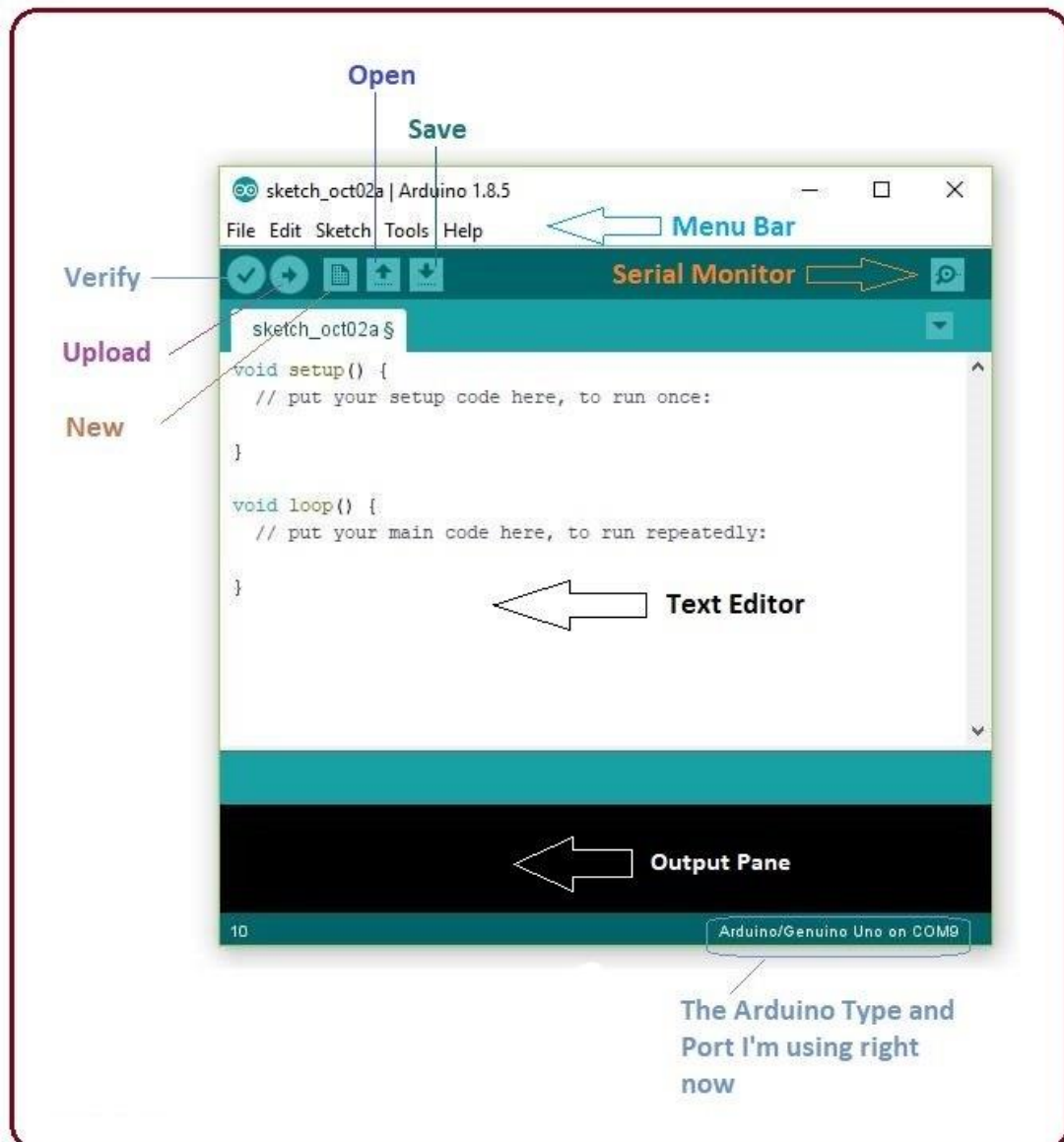
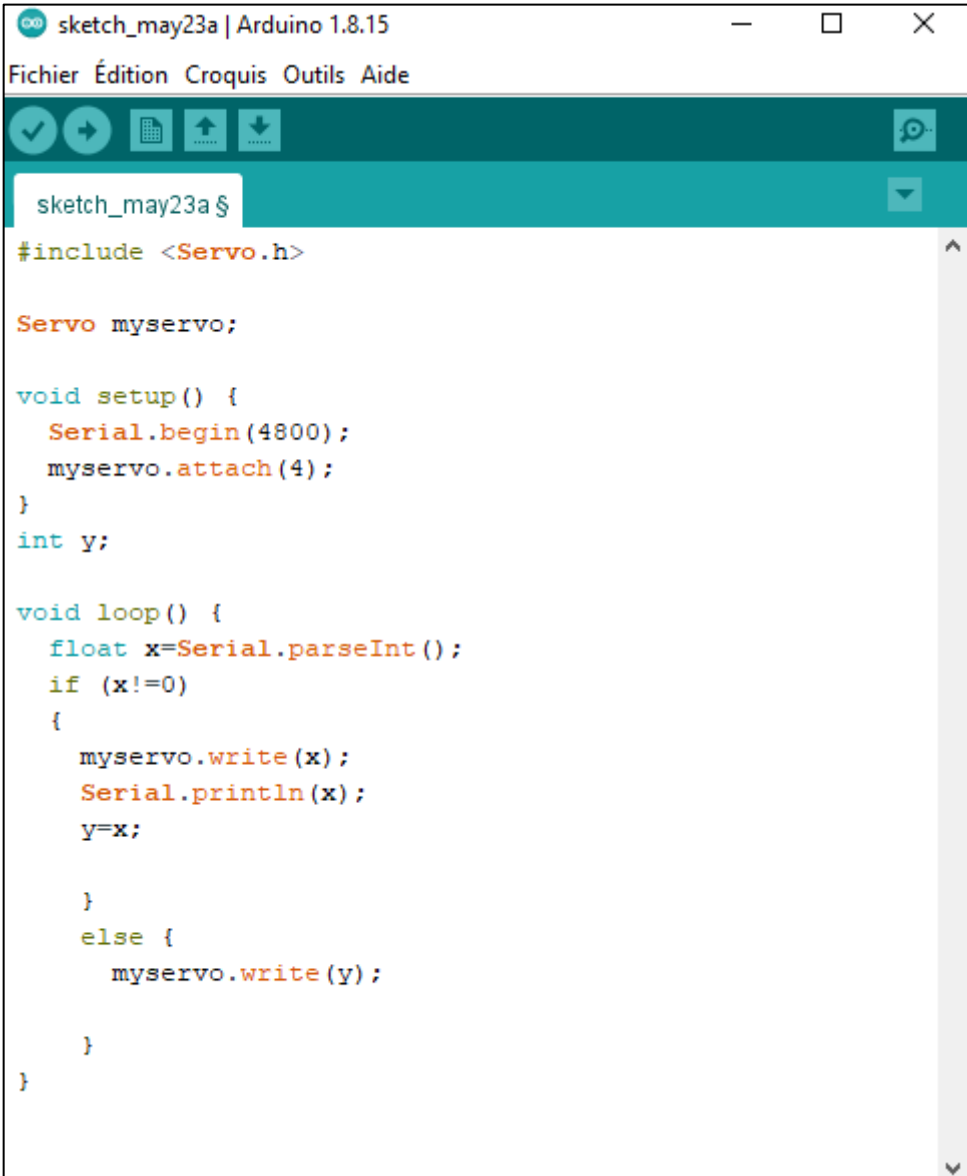


Figure III 6 Interface IDE d'Arduino

B- Le code de la commande d'un sectionneur de haute tension par ARDUINO :

```
sketch_may23a | Arduino 1.8.15
Fichier Édition Croquis Outils Aide

sketch_may23a $
#include <Servo.h>

Servo myservo;

void setup() {
  Serial.begin(4800);
  myservo.attach(4);
}
int y;

void loop() {
  float x=Serial.parseInt();
  if (x!=0)
  {
    myservo.write(x);
    Serial.println(x);
    y=x;

  }
  else {
    myservo.write(y);

  }
}
```

Figure III-7 programme de la commande de Servo moteur sous l'interface Arduino

Après la vérification et le téléversement de ce programme vers L'Arduino on clique sur « Serial monitor » puis on entre le degré que nous voulons et le bras robotique va déplacer jusqu'à le degré proposé.

III-3 Etude expérimentale :

III-3-1 : Équipements pour l'étude expérimentale

III-3-1-1 Pupitre de commande :

Ce pupitre est alimenté sous une tension de 220V. Ce pupitre nous permet de varier manuellement la tension d'essai.



Figure III-8 Pupitre de commande



III-3-1-2 Le circuit d'essais :

Figure III-9 Sectionneur de haute tension commandé

III-3-2 Les essais expérimentaux :

Nous avons fait des essais expérimentaux sur ce sectionneur commandé dans le laboratoire de haute tension sous les conditions initiales suivantes :

Température = 29 °C

Humidité = 34%

Pression = 1012 Hpa

Dans notre essai on pose 0° l'angle dans lequel le sectionneur est fermé, c'est-à-dire la distance entre les éclateurs est nulle, puis on ouvre le sectionneur doucement et on applique une haute tension à ce sectionneur jusqu'à l'apparition de l'arc, nous avons fait 3 essais pour chaque position et on a enregistré les résultats dans le tableau III-1 suivant :

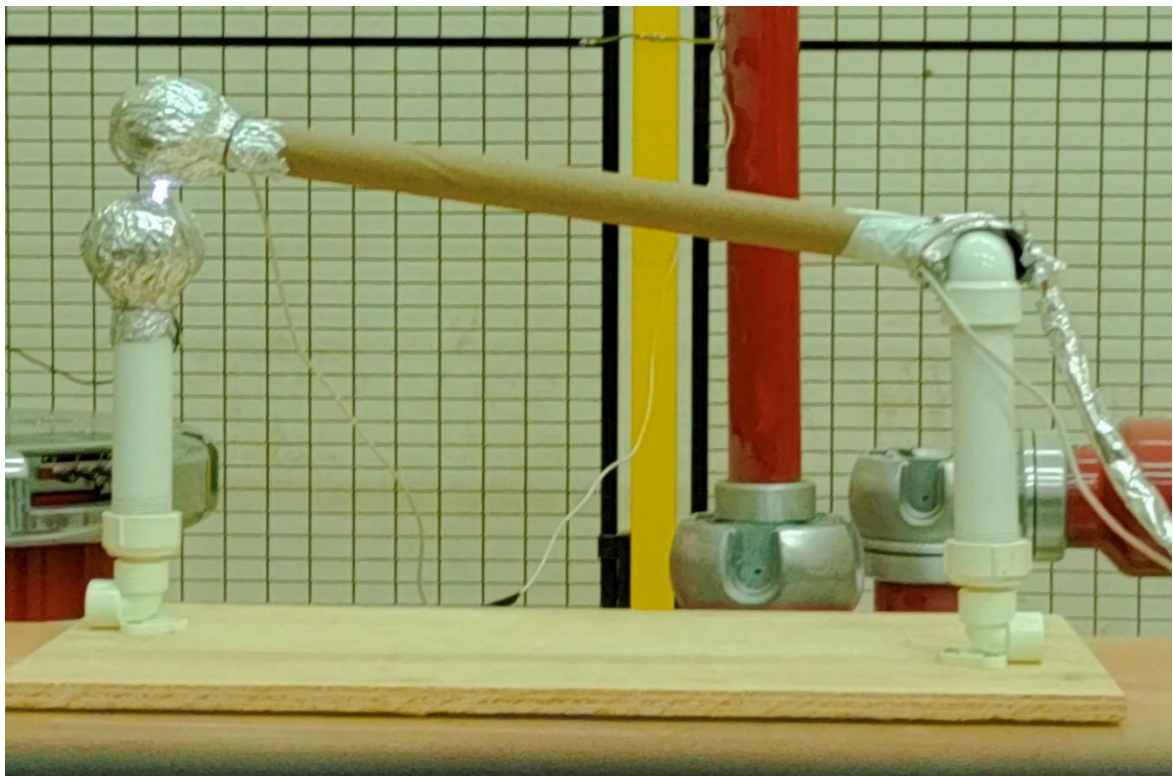
Tableau III-1 la tension nécessaire pour l'apparition d'un arc électrique dans des différentes distances entre les éclateurs sphériques

L'angle entre les éclateurs(°)	La distance entre les éclateurs(cm)	La tension jusqu'à l'apparition d'un arc partiel U_m (kV)	La tension jusqu'à l'apparition d'un arc complet U_m (kV)	La valeur de surtension (kV)
1°	1.6	/	11.51	25.31
2°	2.5	/	24.20	43.55
3°	3.5	43.86	50.57	52.31
4°	4.85	47.49	55.69	58.20
5°	5.6	52.06	61.45	63.04
6°	5.9	58.74	67.21	73.11
7°	6.3	60.73	85.13	73.91

9°	7.7	77.31	90.26	86.18
----	-----	-------	-------	-------

D'après le tableau on remarque que plus on augmente l'angle (la distance) entre les éclateurs plus la tension nécessaire pour l'apparition d'un arc électrique augmente, on observe aussi que si l'angle entre les éclateurs $\geq 3^\circ$ il apparait d'abord un arc électrique partiel après un arc complet à tension plus élevée que le premier.

Par la suite nous présentons quelques photos que nous avons pris durant l'apparition de l'arc



électrique.

Figure III-10 L'apparition de l'arc électrique où la distance entre les éclateurs sphériques est 1.6 cm

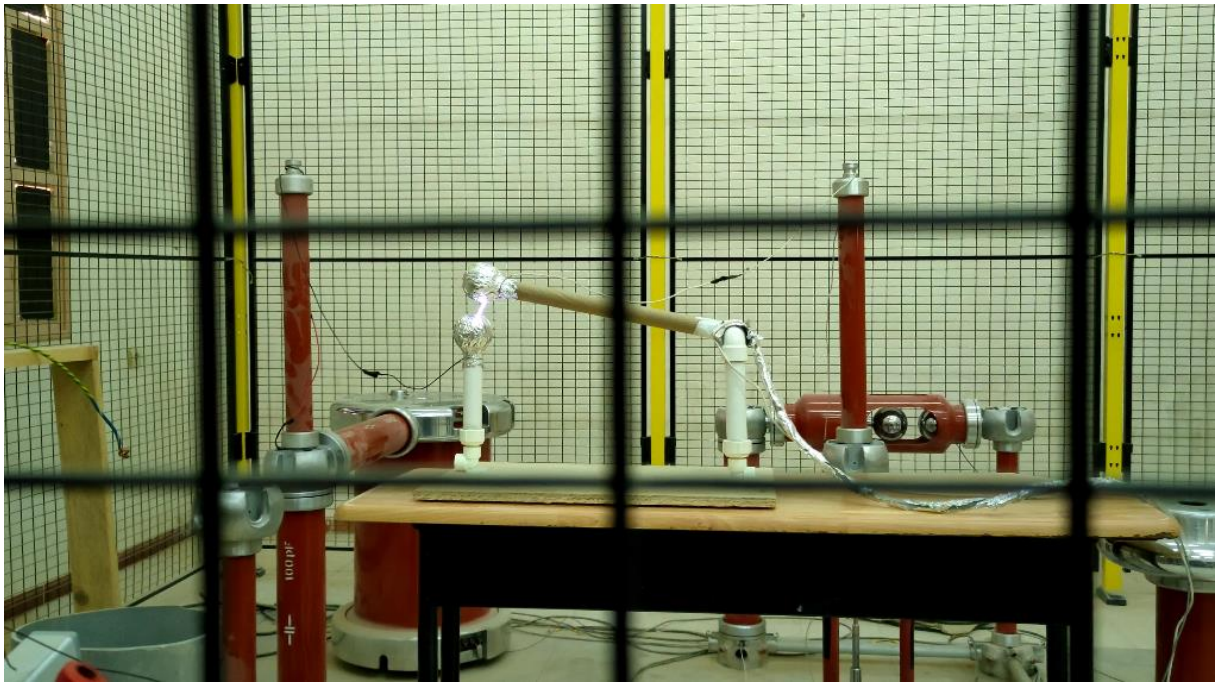


Figure III-11 L'apparition de l'arc électrique complet où la distance entre les éclateurs sphériques est 2.5 cm

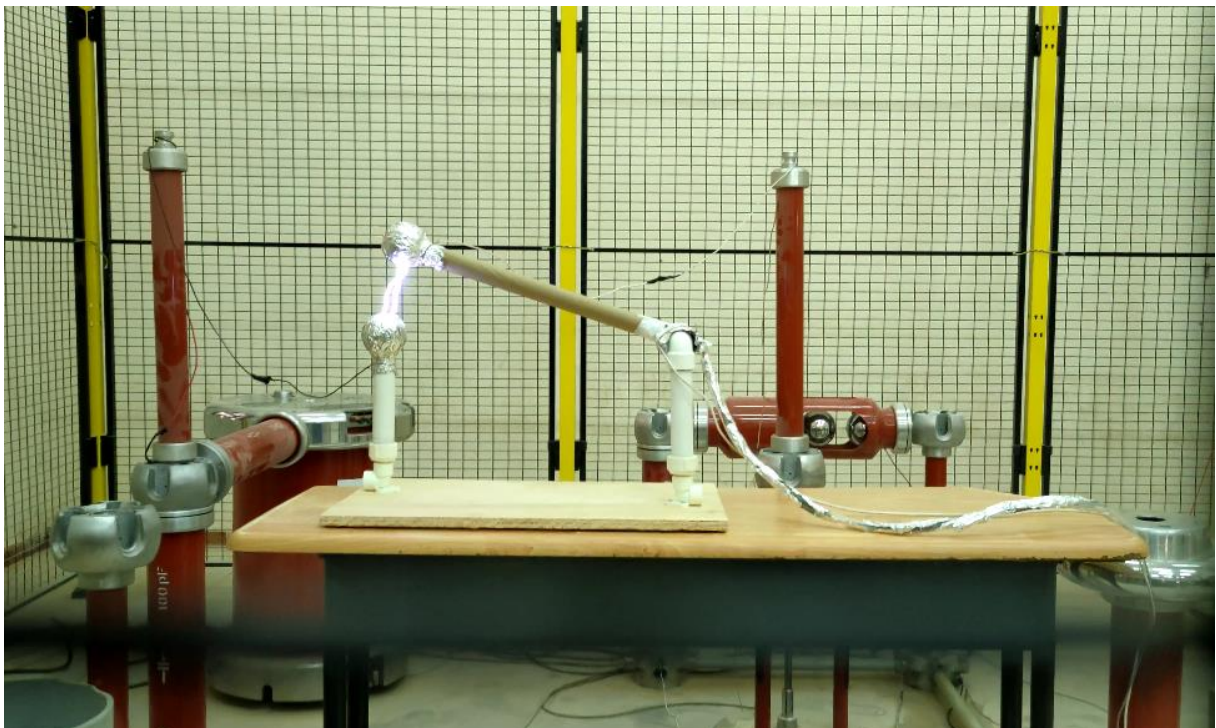
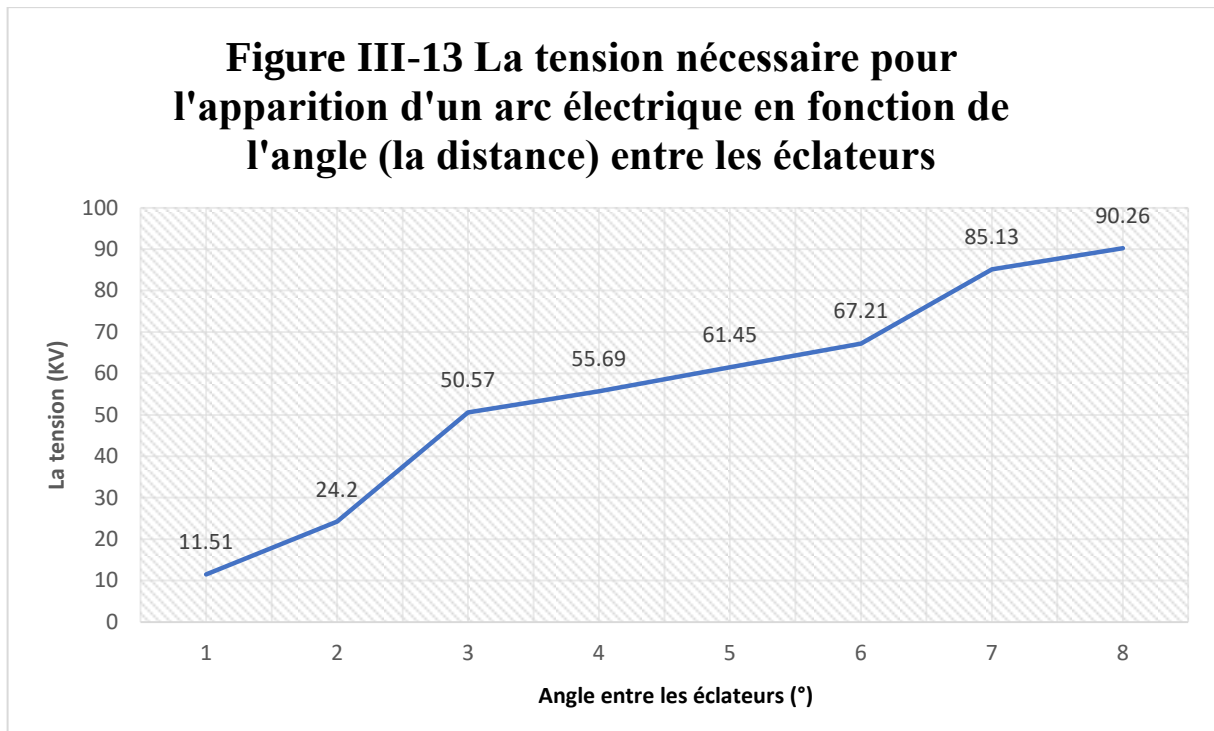


Figure III-12 L'apparition de l'arc électrique complet où la distance entre les éclateurs sphériques est 5.9 cm

D'après le tableau on a tracé la courbe dans la **Figure III-11** ci-dessous.



La figure ci-dessus représente la tension nécessaire pour l'apparition d'un arc électrique en fonction de l'angle (la distance) entre les éclateurs, d'après la figure on remarque que plus on augmente l'angle (la distance) entre les éclateurs plus la tension nécessaire pour l'apparition d'un arc électrique augmente.

III-4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons pu faire un sectionneur de haute tension commandé par un Arduino UNO. Nous avons fait un bref aperçue sur les matériaux utilisés pour construire ce sectionneur, puis nous avons faisons des tests pratiques sur ce sectionneur dans le laboratoire de haute tension et d'après les résultats, la tension de coupure est proportionnelle avec la distance entre les éclateurs sphériques.

Conclusion Général Références

CONCLUSION GENERAL

A travers ce mémoire on a enfin étudié et réalisé un sectionneur de haute tension et nous faisons des tests pratiques sur ce dernier dans le laboratoire de haute tension à université d'Echahid Hamma Lakhdar.

D'abord on a donné une idée générale sur les diélectriques, leurs définitions, leurs différents types et le mécanisme de coupure dans chaque type.

Deuxièmement on a parlé sur les disjoncteurs et les sectionneurs, leurs types, caractéristiques et de autres choses, et chacun d'eux a ses avantages où le disjoncteur protéger les différentes composantes d'un réseau électrique lors d'un court-circuit, en séparant la partie affectée par ce défaut, et le sectionneur sépare les circuits électriques et son alimentation, mais le deux sont pour protéger les composants et d'assurer la sécurité des personnes travaillant.

Dans le dernier chapitre notre travail est consacré à la réalisation d'un sectionneur de haute tension, on a présenté les matériaux nécessaires pour réaliser ce sectionneur, après on a présenté le produit final après la réalisation, enfin nous faisons des tests pratique sur ce dernier dans le laboratoire de haute tension et nous avons abstenu des résultats satisfaisant dans une certaine mesure.

Nous pensons que l'objective visé par ce travail a été atteint, c'est vrai on a rencontré quelques difficultés mais nous l'avons battu, enfin ce travail peut être développé par l'addition de certains matériaux et c'est un grand pas vers la réalisation d'un disjoncteur de haute tension.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] AITEUR Koceila, AMER Toufik << **Le Processus de coupure d'un courant de court-circuit dans Un disjoncteur SF6 haute tension**>> >> Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master en électrotechnique de l'université de Béjaia .
- [2] Ichalal Zoubir, Hafiane Nassim << **Modélisation d'arc électrique dans le disjoncteur SF6 HT**>>
Mémoire en vue de l'obtention de diplôme master de l'université de Bejaia 2015.
- [3] C. LEROY <<**Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions**>> Paris : collection de la direction des études et recherches d'électricité de France, 1984.
- [4] MEDEKHEL Lamine, DJEDID Yacine << **Amélioration de rigidité diélectrique d'un isolateur de haute tension par le dépôt des barrières en verre**>> Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master de l'université d'El oued 2019
- [5] Barkat Toufik <<**Intelligence en essaim, état de l'art et applications dans les matériaux diélectriques**>> Mémoire présenté en vue de pour l'obtention du diplôme magister en électrotechnique de l'université de Batna.
- [6] S. VITET, « **La pollution des isolateurs,** » EDF-Epure, Juillet 1990.
- [7] http://edoc.bib.ucl.ac.be:61/ETD-db/collection/available/FUNDPetd-02232005-200950/unrestricted/05_chap1.pdf
- [8] C. Menguy, <<**Techniques de l'ingénieur, traité Génie électrique**>>.
- [9] André DENAT <<**Techniques de l'ingénieur, Caractéristiques des diélectriques liquides**>>
- [10] A. Boubakeur , <<**Claquage des diélectriques liquides** >>, support de cours l'université de Batna, 2002/2003.
- [11] Boukamoume Amir, Kenouche Dyhia <<**Interruption d'un courant alternatif par disjoncteur SF6 HT en utilisant le modèle MAYR.** >> Mémoire en vue de l'obtention de diplôme master de l'université de Bejaia 2015.
- [12] ENOH SERGE DIDIER EBY « **Simulation numérique du transfert radiatif dans les arcs de disjoncteurs à SF6** » Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtres sciences appliquées Mars 1997.

Références bibliographiques

- [13] Denis DUFOURNET « **Appareillage électrique d'interruption HT (partie 1)** » DOSSIER Techniques de l'Ingénieur d4690 Document délivré le 09/05/2012.
- [14] Messaoud MOHAMMEDI « **Schémas et Automates Programmables** », support de cours Première année Master Commande. Année 2011.
- [15] Zakaria ER « **Disjoncteur définition fonctionnement et type** » EMI GA1 2009/2010.
- [16] Denis DUFOURNET « **Appareillage électrique d'interruption HT (partie 3)** » DOSSIER Techniques de l'Ingénieur d4690 Document délivré le 09/05/2012
- [17] zensol@zensol.com Disjoncteurs Haute tension.htm.
- [18] Denis Dufour net « **Disjoncteurs SF6 Évolution de 1959 à 1994** », Revue générale de l'électricité.
- [19] ZELLAGUI Mohamed, « **ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV)** », université Mentori Constantine, juillet 2010.
- [20] Merlin Gerin, Manuel d'utilisation, « **Disjoncteurs MT 30 Kv : Fluarc FB.4** » France, juin 2002.
- [21] Serge THEOLEYRE « **Les techniques de coupure en MT** », Cahier technique n° 193 éditions septembre 1998.
- [22] L'appareillage BT : fonctions et choix (Chapitre H), Schneider Electric - Guide de l'installation électrique, 2009.
- [23] F. AMRANI, R. BELKESSA «**ETUDE DES PROTECTIONS DES DEPARTS MOYENNE TENSION APPLICATION POSTE 60 / 30 kV DE TIZI MEDEN** » mémoire De fin d'études En vue de l'obtention du diplôme : D'Ingénieur d'état en Electrotechnique UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU.
- [24] Dr. BENAIED Noredine « **Schémas et Appareillages électriques, Commande des systèmes électriques** » Universitaire de Relizane 2014
- [25] Dr : AFIF BENAMEUR « **Cours Schémas et Appareillages électriques** » UNIVERSITE MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA ,2017.
- [26] LATRECHE Soufiane, BOUZID Kheir Eddine « **Etude et Réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino uno** » Mémoire en vue de l'obtention de diplôme master de l'université de Ouargla 2016.
- [27] SSA SEKKAL « **Etude bibliographique sur les décharges électriques dans les gaz** » Université Tlemcen.