

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'études de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Présenté par
Hadjira KHEFFACHE
Fariza MESSAD

Thème

Etude des techniques de coupure dans les disjoncteurs

Mémoire soutenu publiquement le 28 septembre 2014 devant le jury composé de :

M^{elle} Kereche NORA
Maitre Assistant Classe A, UMOB, Présidente

M^{me} Saraoui RACHIDA
Maitre Assistant Classe B, UMMTO, Raportrice

M^{elle} Radja NADIA
Maitre Assistant Classe B, UMMTO, Examineur

M^{elle} Kecili NADIA
Vacataire, UMMTO, Examineur

Remerciements

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les cinq années de maîtrise nous ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple.

Ce parcours en effet, ne s'est réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercions vivement notre promotrice M^{me} R.SARAOUI, pour ces orientations et ces conseils tout le long de ce travail.

Notre remerciement s'adresse aussi aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur en acceptons de juger ce travail.

Tous les enseignants du département d'électrotechnique de l'UMMTO qui ont participé à notre formation durant tout notre cycle universitaire ainsi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de notre plus profond remerciement.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents qui m'ont tant soutenus dans la vie que dieu les protège

Mes frères et sœurs

Toute la promotion 2014 en particulier option réseau électriques

Tous ceux qui me sont chers

Tous mes amis (es)

K.Hadjira

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents qui m'ont tant soutenus dans la vie que dieu les protège

Mes frères et sœurs

Tous mes amis (es)

M. Fariza

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I Généralités sur les phénomènes liés au courant et à la tension

I.1 Introduction	3
I.2 Les surintensités.....	3
I.3 La surcharge	3
I.3.1 Caractéristiques.....	3
I.3.2 Causes habituelles des surcharges	4
I.4 Le court-circuit	4
I.4.1 Caractéristiques	4
I.4.2 Causes habituelles des courts-circuits.....	5
I.5 Les surtensions.....	6
I.5.1 Différents types de surtension dans les réseaux électriques	6
I.6 Rigidité diélectrique, isolant électrique, claquage électrique	7
I.6.1 Rigidité diélectrique	7
I.6.2 Isolant électrique	7
I.6.3 Claquage électrique	8
I.7 Ionisation des gaz.....	8
I.8 Variations de tension.....	9
I.9 Déséquilibre.....	9
I.10 Conclusion	10

Chapitre II L'arc électrique

II.1 Introduction	11
II.2 Condition de formation de l'arc électrique	11
II.3 Les Propriétés de l'arc électrique	12
II.3.1 Ses propriétés physiques	12
II.3.2 Ses propriétés électriques	13
II.4 Les conditions d'extinction	15
II.4.1 Aspect thermique	15
II.4.2 Aspect diélectrique.....	16
II.5 Inconvénient et danger de l'arc	18
II.6 Processus de coupure avec l'arc.....	19
II.6.1 La période d'attente	19
II.6.2 La période d'extinction	19
II.6.3 La période Post-Arc	19
II.7 Conclusion.....	20

Chapitre III Couper grâce à l'arc

III.1 Introduction	21
III.2 Coupure des courants établis	21
III.2.1 Définition	21
III.2.2 Coupure sous une tension continue	21
III.2.3 Coupure sous une tension alternative monophasée.....	24
III.2.4 Coupure sous une tension alternative triphasée.....	27
III.3 Coupure des courants présumés.....	27
III.3.1 Définition	27

III.3.2	Sous une tension continue.....	28
III.3.3	Sous une tension alternative monophasée	28
III.3.4	Sous une tension alternative triphasée.....	30
III.4	Coupure avec limitation.....	30
III.4.1	Définition	30
III.4.2	Sous une tension continue.....	30
III.4.3	Sous une tension alternative monophasée	31
III.4.4	Sous une tension alternative triphasée.....	32
III.5	Conclusion	33

Chapitre IV Différentes types et les techniques utilisées dans le disjoncteur

IV.1	Introduction.....	34
IV.2	Définition du disjoncteur	34
IV.3	choix des disjoncteurs	35
IV.3.1	Caractéristiques fondamentales	35
IV.4	La constitution du disjoncteur	36
IV.5	Différents techniques utilisées	42
IV.5.1	Thermique	42
IV.5.2	Magnétique.....	43
IV.5.3	Différentielle	44
IV.6	Différentes types de disjoncteurs.....	46
IV.6.1	Disjoncteur divisionnaire.....	46
IV.6.2	Disjoncteur industriel BT	46
IV.6.3	Disjoncteur moyenne tension MT.....	46
IV.6.4	Disjoncteur haute tension HT	47
IV.7	Conclusion	47

Chapitre V Différents milieux de coupure de l'arc

V.1 Introduction	48
V.2 Les techniques de coupure.....	48
V.2.1 Le milieu de coupure	48
V.2.2 La coupure dans l'air	51
V.2.2.1 Le mécanisme dans l'air.....	51
V.2.2.2 principales caractéristiques d'un dispositif de coupure dans l'air	52
V.2.2.3 Les domaines d'application de la coupure dans l'air	52
V.2.3 La coupure dans l'huile.....	53
V.2.3.1 Le principe	53
V.2.3.2 Différentes techniques de coupure dans l'huile	54
V.2.3.3 Les domaines d'application de la coupure dans l'huile.....	56
V.2.4 La coupure dans le vide	56
V.2.4.1 Propriétés diélectriques du vide.....	56
V.2.4.2 Le mécanisme de coupure dans le vide	57
V.2.4.3 Les différentes technologies de coupure dans le vide	58
V.2.4.4 Les domaines d'application de la coupure dans le vide ...	60
V.2.5 La coupure dans le SF_6	60
V.2.5.1 Propriété du SF_6	60
V.2.5.2 Les mécanismes de coupure dans le SF_6	62
V.2.5.3 Les différentes technologies de coupure dans le SF_6 et leur domaines d'application	64
V.3 Comparaison des différentes techniques	70
V.4 Conclusion	74
Conclusion générale.....	75

Introduction générale

L'utilisation de l'énergie électrique nécessite d'établir ou d'interrompre les circuits et cela selon le besoin, lors d'ouverture d'un circuit électrique les courants tendent à se maintenir grâce à l'apparition d'un arc électrique.

L'arc correspond à une décharge lumineuse qui accompagne le passage de l'électricité entre deux conducteurs présentant une différence de potentiel convenable. Ce phénomène fut découvert en 1813 par le physicien et chimiste anglais DAVY qui en étudia les effets à travers différents gaz. Aussi ; pendant de nombreuses décennies encore, la protection du circuit électrique nécessitera des disjoncteurs.

Le disjoncteur est un appareil électromagnétique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales, mais surtout dans celles dites anormales, c'est-à-dire surcharge et les courts-circuits. Il s'ouvre alors automatiquement. Après élimination du défaut, il suffit de le réarmer par une action manuelle, et cela selon ses différents types.

L'ouverture du marché de l'électricité, la libéralisation du marché de l'électricité fait que la qualité de l'énergie électrique est devenue un des critères de choix d'un fournisseur d'énergie plutôt qu'un autre de la part des consommateurs. Les fournisseurs se doivent donc de fournir à leurs clients une énergie avec une qualité maximale.

Les contraintes les plus importantes sont liées aux phénomènes transitoires qui interviennent lors des manœuvres et lors des coupures avec arc électrique de courant de défaut. Cet arc a un comportement difficile à prédéterminer malgré les techniques actuelles de modélisation.[7]

Dans notre présent projet, nous allons procéder à l'étude des techniques de coupure dans les disjoncteurs, et pour cela nous allons nous intéresser à l'étude de l'arc électrique et ses conditions de formations et les raisons de son apparition dans un disjoncteur.

Ce travail est composé de cinq chapitres :

Le premier chapitre représente les généralités sur les phénomènes liées au courant et à la tension en déterminons leur caractéristiques car l'électricité est un domaine vaste.

Le second chapitre constitue l'arc électrique afin de sélectionner ses priorités pour ensuite connaître ces conditions de formation.

Le troisième chapitre s'intéresse au couper grâce à l'arc car il s'est avéré préférable d'introduire un arc dans un circuit afin de limité les défauts.

Le quatrième chapitre consiste au différent type et les techniques utilisées dans le disjoncteur, et le rôle qui endosse dans un circuit électrique.

Le cinquième chapitre est consacré au différent milieu de coupure de l'arc ; afin de signaler le choix du mieux adapté. On a constaté que deux milieux sont mis en valeurs par leurs performances sur le terrain.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale.

I.1 Introduction

L'énergie électrique concerne tous les acteurs du domaine énergétique, qu'ils soient gestionnaires de réseaux, fournisseurs, producteurs, ou consommateurs d'électricité, car le circuit électrique est soumis à plusieurs contraintes liées à la tension et au courant pour cela nous allons nous abstenir sur leurs définitions, caractéristiques et enfin leurs causes. [7]

I.2 Les surintensités

Dans un circuit électrique, la surintensité est atteinte lorsque l'intensité du courant dépasse une limite jugée supérieure à la normale. Elle se manifeste de deux façons différentes, les surcharges et le court-circuit. Dans la plupart des cas, les surintensités sont causées par des erreurs de manipulation. [10]

I.3 La surcharge

Le courant de surcharge est en général une faible surintensité se produisant dans un circuit électrique sain. L'exemple type en est le circuit alimentant des prises de courant sur lesquelles on a raccordé un trop grand nombre d'appareil. [7]

I.3.1 Caractéristique

Le terme "surcharge" est utilisé pour un courant excessif circulant dans un circuit en bon état électriquement. Les surcharges sont en général inférieures à 10 fois le courant nominal du circuit. Les surcharges de courant ne sont pas beaucoup plus élevées que le courant maximum permanent d'une installation, mais si elles se maintiennent trop longtemps elles peuvent faire des dégâts. Les dégâts, plus particulièrement aux matières isolantes en contact avec les conducteurs de courant, sont la conséquence de l'effet thermique du courant. La durée de cet effet thermique est relativement longue (de quelques secondes à quelques heures), et la surcharge peut donc être caractérisée par la valeur efficace du courant. La protection contre une surcharge est réalisée par un dispositif de protection capable de diminuer la durée de la surcharge.

I.3.2 Causes habituelles des surcharges

Les principales causes pouvant provoquées des surcharges sont cités dans le tableau suivant [7] :

Manque de maintenance	Accumulation de poussière, salissure, particules, étrangère
Vieillessement des équipements	Pièce usées, lubrification insuffisante
Problèmes thermique	Isolement dégradé, composants défailants
Mauvaise utilisation	Capacité insuffisante, usage excessif
Qualité énergétique	Surtension et sous tensions transitoire
Défaut de terre de faible amplitude	Particule métallique, dégâts des eaux

Tableau I .1 : Cause des surcharges et leurs exemples.

I.4 Le court circuit

Il se produit dès que l'on met en présence deux polarités opposées en absence de charge. Cela entraîne des contraintes électrodynamiques et un échauffement important qui peut dégénérer en incendie. [10]

I.4.1 Caractéristiques

Le court circuit est souvent dû à une défaillance électrique importante comme la rupture d'un isolant, la chute d'un objet métallique sur des barres ou la défaillance d'un semi conducteur. Il en résulte un courant de défaut dont la valeur efficace est très élevée (typiquement supérieure à 10 fois la valeur du courant nominal de l'installation). L'effet thermique est tellement rapide que les dégâts dans l'installation

se produisent en quelques millisecondes. Cet effet thermique extrêmement rapide ne peut pas être caractérisé par la valeur efficace du courant présumé de défaut comme c'est le cas dans les surcharges, car il dépend de la forme de l'onde de courant. Dans ce cas la protection doit limiter l'énergie associée au défaut ; cette énergie est liée à la grandeur suivante I^2t . Cependant la protection contre les courts-circuits impose souvent une condition supplémentaire qui est la **limitation du courant crête** autorisé dans l'installation. En effet les **forces électromagnétiques** sont proportionnelles au carré de la valeur instantanée du courant et peuvent produire des dégâts mécaniques aux équipements si les courants de court circuit ne sont pas « limités » très rapidement. Les contacts de sectionneurs, contacteurs et même de disjoncteurs peuvent se souder si le courant crête passant dans le circuit de défaut n'est pas limité à une valeur suffisamment basse. Si la fusion de certains conducteurs et de certaines parties de composants se produit, un arc entre les particules fondues peut s'amorcer, déclencher des incendies et créer des situations dangereuses pour le personnel. Une installation électrique peut même être complètement détruite. Les fusibles ultra-rapides pour la protection des semi conducteurs fournissent une excellente protection en cas de court circuit.

I.4.2 Causes habituelles des courts circuits

Les principales causes qui peuvent être à l'origine d'un court-circuit sont représentées dans le tableau suivant [7] :

Eléments étranger	Boulons, tournevis autre objet conducteur
Défaillance de composant	Claquage de semi conducteur
Surtension	Foudre, commutation, interrupteur
Défaut de terre de grande amplitude	Court-circuit à la terre
Influence externe	Inondation incendies, vibration

Tableau I.2.Causes des courts-circuits et leurs exemples

I.5 Les surtensions

En électrocinétique, la surtension désigne le fait pour un élément particulier d'un dipôle électrique d'avoir à ses bornes une tension supérieure à celle aux bornes du dipôle complet. C'est le cas par exemple de la tension aux bornes d'un condensateur dans un dipôle RLC série en résonance.

I.5.1 Différents types de surtension dans les réseaux électriques [1] [7]

a) **Surtension permanente** : d'une durée de plusieurs heures, elle est causée par ce que l'on appelle l'effet ferranti.

b) **Surtension temporaire** : d'une durée d'une ou de plusieurs secondes. Un court-circuit d'une des phases d'un réseau triphasé à la terre (défaut d'isolement d'un câble HT, un réseau électrique possède en générale une tension normale : on parle aussi de tension nominale. En basse tension, cette tension nominale peut être par exemple de $230V$ entre phase et neutre. En moyenne tension, celle-ci est normalisée à $20kV$ (entre phase) et $11.5kV$ (entre phase et terre). Le réseau peut se trouver accidentellement porté à une tension supérieure de sa tension nominale : on parle alors de surtension. Les surtensions sont une des causes possibles de défaillances d'équipements électriques ou électroniques, bien que ceux-ci soient de mieux en mieux protégés contre ce type d'incident.

c) **Surtension de manœuvre** : liée à la manœuvre d'un disjoncteur ou d'un sectionneur, d'une durée de quelques dizaines microsecondes à quelques millisecondes. La manœuvre d'un sectionneur dans un poste électrique à isolation gazeuse engendre en particulier des surtensions à fronts très raides

d) **Surtension de foudre** : due au foudroiement d'une ligne à haute tension.

I.6 Rigidité diélectrique, isolant électrique, claquage électrique

I.6.1 Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un milieu isolant représente la valeur maximum du champ électrique que le milieu peut supporter avant le déclenchement d'un arc électrique (donc d'un court-circuit). On utilise aussi l'expression champ disruptif qui est synonyme mais plus fréquemment utilisée pour qualifier la tenue d'une installation, alors que le terme rigidité diélectrique est plus utilisé pour qualifier un matériau. Pour un condensateur quand cette valeur est dépassée, l'élément est détruit. La valeur maximale de la tension électrique appliquée aux bornes, est appelée tension de claquage du condensateur.[7]

Dans le cas d'un disjoncteur à haute tension, c'est la valeur maximum du champ qui peut être supportée après l'extinction de l'arc (l'interruption du courant). Si la rigidité diélectrique est inférieure au champ imposé par le rétablissement de la tension, un réamorçage de l'arc se produit d'où l'échec de la tentative d'interruption du courant.

I.6.2 Isolant électrique

En électricité comme en électronique, un isolant, ou isolant électrique aussi appelé matériau diélectrique, est une partie d'un composant ou un organe ayant pour fonction d'interdire le passage de tout courant électrique entre deux parties conductrices. Un isolant possède peu de charges libres, elles y sont piégées, contrairement à un matériau conducteur où les charges sont nombreuses et libres de se déplacer sous l'action d'un champ électromagnétique.

La faculté d'un matériau à être isolant peut aussi être expliquée par la notion de bandes d'énergie. L'isolation électrique est rattachée à une grandeur physique mesurable, la résistance, qui s'exprime en ohms (*symbole* : Ω).

I.6.3 Claquage électrique

Le claquage est un phénomène qui se produit dans un isolant quand le champ électrique est plus important que ce que peut supporter cet isolant. Il se forme alors un arc électrique.

Dans un condensateur, lorsque la tension atteint une valeur suffisante pour qu'un courant s'établisse au travers de l'isolant (ou diélectrique), cette tension critique est appelée tension de claquage. Elle est liée à la géométrie de la pièce et à une propriété des matériaux appelée rigidité diélectrique qui est généralement exprimée en (kV/mm). La décharge électrique à travers l'isolant est en général destructrice. Cette destruction peut-être irrémédiable, mais ceci dépend de la nature et de l'épaisseur de l'isolant entrant dans la constitution du composant : certains isolants sont ainsi dits auto-régénérateurs comme l'air ou l'hexafluorure de soufre.

I.7 Ionisation des gaz [3]

L'ionisation est l'action qui consiste à enlever ou ajouter des charges à un atome ou une molécule. L'atome - ou la molécule - perdant ou gagnant des charges n'est plus neutre électriquement. Il est alors appelé ion.

Un plasma est une phase de la matière constituée de particules chargées, d'ions et d'électrons. La transformation d'un gaz en plasma (gaz ionisé) ne s'effectue pas à température constante pour une pression donnée, avec une chaleur latente de changement d'état, comme pour les autres états, mais il s'agit d'une transformation progressive. Lorsqu'un gaz est suffisamment chauffé, les électrons des couches extérieures peuvent être arrachés lors des collisions entre particules, ce qui forme le plasma. Globalement neutre, la présence de particules chargées donne naissance à des comportements inexistant dans les fluides, en présence d'un champ électromagnétique par exemple [7].

I.8 Variations de tension

La mise en service ou hors service des appareils électriques et le fonctionnement de certaines charges à puissance variable entraînent des variations de tension qui se manifestent sous deux formes principales :

- Des variations lentes de tension se produisant à des intervalles de temps supérieurs à quelques secondes. Ces variations sont dues principalement au branchement et débranchement des charges et en général ne dépassent pas les $\pm 10\%$ de la tension nominale. Ils ne causent pas de préjudice pour la plupart des équipements électriques.
- Des variations rapides de tension conduisant à une composition spectrale de fréquence dans la bande 0,5 et 25Hz. Ces variations sont dues aux charges dont la puissance absorbée fluctue de manière rapide, tels que les fours à arc, les machines à souder, les moteurs à couples pulsatoires ou à démarrages fréquents. Ces fluctuations rapides sont particulièrement ressenties sur le flux lumineux des lampes car elles provoquent un papillotement de la lumière, connu aussi comme flicker et qui est fort désagréable pour les consommateurs.[7]

I.9 Déséquilibre

Trois grandeurs de même nature et de même pulsation forment un système triphasé équilibré lorsqu'elles ont la même amplitude et lorsqu'elles sont déphasées de $\pm 120^\circ$. Lorsque les grandeurs ne vérifient pas ces conditions de phase et d'amplitude, on parle d'un système triphasé déséquilibré. Les déséquilibres sont généralement dus à des charges monophasées car dans ce cas les courants absorbés sur les trois phases sont d'amplitude et/ou de phase différente, d'où un déséquilibre des trois tensions. Le déséquilibre des tensions peut également être dû à des charges triphasées, lorsque celle-ci ne sont pas symétriques. On parle d'un déséquilibre d'amplitude lorsque les trois tensions n'ont pas la même valeur efficace, et d'un déséquilibre de phase lorsque le déphasage entre les trois phases successives n'est pas de 120° . Le niveau de déséquilibre est lié à la fois à la puissance et la localisation des charges perturbatrices, et à la puissance de court-circuit du réseau amont. Le bouclage des réseaux, favorable

à l'obtention d'une puissance de court-circuit élevée, permet de diminuer le degré de déséquilibre. Les déséquilibres de tension engendrent des composantes inverses de courant, qui provoquent des couples de freinage parasites et des échauffements dans les moteurs à courant alternatif. Ils peuvent également perturber le fonctionnement des dispositifs à thyristors à commande de phase.[10]

I.10 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons exposé des généralités sur les phénomènes liés au courant et à la tension en déterminant leurs différentes caractéristiques afin de mieux comprendre toutes leurs causes. Pour ensuite déterminer le sens de l'arc et ses propriétés dans le chapitre suivant.

II.1 Introduction

L'arc électrique n'a pas été inventé ; il s'est manifesté au premier physicien qui tenta d'interrompre un circuit parcouru par un courant. En effet, le circuit toujours selfique fournit suffisamment d'énergie aux électrons pour franchir la distance qui apparaît dans la zone de séparation des conducteurs. Le gaz présent, généralement dans l'air, est ionisé par ces électrons « pionniers » et la création de ce plasma va dès lors faciliter le passage du courant. Ce présent chapitre fera l'objet de la description de l'arc électrique. [7]

II.2 Condition de formation de l'arc électrique

L'arc apparaît dans un milieu gazeux par claquage diélectrique entre deux électrodes au-delà d'une valeur de champ électrique E/d , fonction de la forme des électrodes, de la nature et de la densité du gaz (d = distance entre les électrodes).

Dès l'ouverture d'un circuit électrique parcouru par un courant: même si le circuit est purement résistif, une certaine distance d'ouverture est nécessaire pour éviter le claquage diélectrique. Or les circuits sont souvent selfiques, ce qui augmente encore les risques de claquage et nécessite ainsi une distance plus grande entre les électrodes. De plus, toute tentative de décroissance rapide du courant est significative d'un $L.di/dt$ important, favorisant le claquage quelle que soit la valeur du courant. [2]

A la coupure d'un circuit d'impédance Z_c , naît généralement un arc électrique entre les contacts de l'organe de manœuvre (interrupteur, disjoncteur). Ce fait marquant, qui intervient principalement sur forte surcharge (ou court-circuit) lorsque la séparation des pôles est dépendante des éléments de contrôle de la surintensité, se produit également sur ouverture non spontanée et à un degré moindre sur fermeture. Cela est représenté dans la figure (Figure II-1) suivante. [4]



Figure II-1 : circuit électrique

II.3 Les propriétés de l'arc électrique

L'arc électrique est composé de deux sortes de propriété qui sont comme suite [4] :

- Propriétés physiques
- Propriétés électriques

II.3.1 Ses propriétés physiques

Dès la séparation de deux contacts, l'un (cathode) émet des électrons, l'autre (anode) les reçoit. Le phénomène d'émission des électrons étant par nature énergétique, la cathode sera chaude. Le pied d'arc devenant ainsi thermoémissif les électrons sont majoritairement émis au point chaud, d'où un phénomène de stagnation de l'arc pouvant créer des vapeurs métalliques. Ces vapeurs et le gaz ambiant vont dès lors être ionisés, d'où

- d'avantage d'électrons libres.
- création d'ions positifs qui retombent sur la cathode et entretiennent son échauffement.
- création d'ions négatifs qui en bombardant l'anode provoquent son échauffement.

L'ensemble de toute cette agitation se fait dans une colonne de plasma à haute température, 4 000 à 20 000 K, suivant le courant et le Confinement de celle-ci.

La figure (II-2) nous montre la composition de la colonne de l'arc électrique.[8]

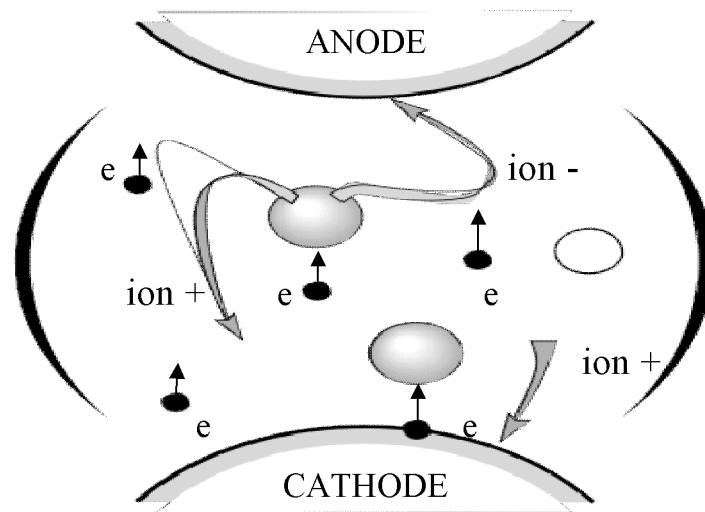


Figure II-2 : Composition de la colonne d'arc

II.3.2 Ses propriétés électriques

Le plus notable est de faire apparaître une tension d'arc dont la valeur a :

- une partie fixe, $U_{AC} = 20$ à 40 V, qui apparaît dès la moindre séparation des contacts (fonction des matériaux utilisés),
- une partie variable, $U_L = 50$ à 100 V, quand l'arc est stabilisé en allongement dans son contexte d'équilibre pression-température.

Soit une valeur totale

$$U_a = U_{AC} + U_L \quad (\text{II.1})$$

A noter que :

- le signe de U_a change en même temps que le signe du courant d'arc.
- la valeur du courant d'arc n'influe pas fondamentalement sur la tension d'arc, cela tient au fait que l'arc «travaille» à densité de courant ($j = i/s$) presque constante (les sections des taches anodiques et cathodiques, ainsi que celle de la colonne d'arc sont proportionnelles au courant), d'où par analogie avec une résistance :

$$U = R i = \rho \frac{l}{S} i = \rho l j \quad (\text{II.2})$$

U: tension d'arc.

R: résistance de l'arc.

ρ :résistivité

l : distance entre les taches.

J : densité de courant de l'arc

- Une énergie d'arc est produite par :

$$W_a = \int U_a i dt \quad (\text{II.3})$$

W_a : énergie d'arc.

- Si l'arc est placé dans un champ magnétique, il est soumis aux forces de Laplace dont l'équation est :

$$F = B i l \sin a \quad (\text{II.4})$$

F : force de Laplace.

B : champ magnétique traversant l'arc.

i : courant dans les taches.

$\sin a$: l'angle entre le champs et le courant.

Ce qui a pour effet de le cintrer si B est perpendiculaire à i, puis de le déplacer transversalement.

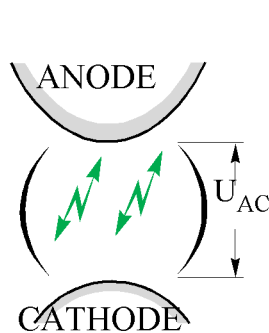


Figure II-3 : Tension de l'arc U_{AC}

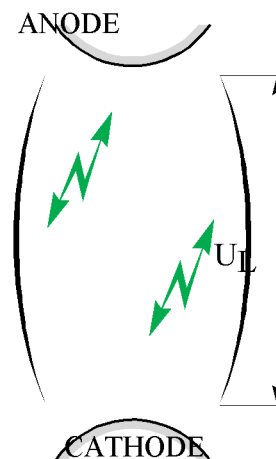


Figure II-4 Tension de l'arc U_L

II.4 Ses conditions d'extinction

Il ya extinction de l'arc électrique quand le courant de l'arc devient et reste nul et cela en suivant deux aspects qui sont thermique et diélectrique. [4]

II.4.1 Aspect thermique

Quand le courant d'arc est petit ou devient petit, les échanges d'énergie thermique peuvent devenir supérieurs à l'énergie interne de l'arc et celui-ci "meurt" de froid (arc grêle), dès lors ceci se traduit par une tension d'arc qui augmente. Pendant cette augmentation de tension, une brutale extinction peut même apparaître si les capacités parasites "court-circuitent" l'arc, ce qui se produit quand la tension d'arc devient et reste plus grande que la tension de charge des capacités réparties. Ce phénomène est appelé «arrachement». Il n'en est pas toujours ainsi :

- si le courant d'arc vient se stabiliser contre une paroi isolante, sa surface d'échange thermique diminue et les composants de l'isolant, localement très chauds, peuvent favoriser la conduction et l'entretien de l'arc.
- si le courant d'arc est important, la colonne d'arc est très exothermique et seules les évolutions conjointes de la tension d'arc et de la tension réseau permettent de réduire ce courant puis de l'annuler.[4]

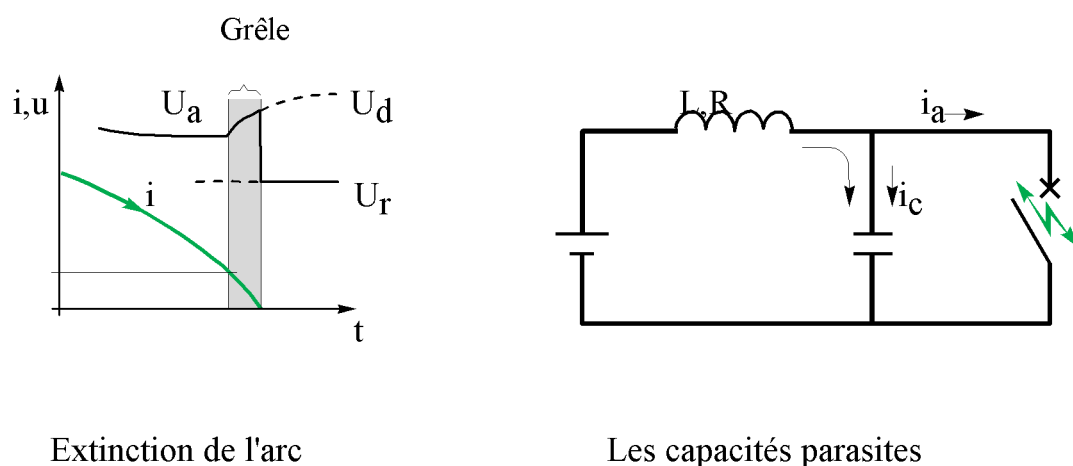


Figure II-5 : Extinction d'un arc électrique par arrachement

II.4.2 Aspect diélectrique

Il ne suffit pas que le courant d'arc devienne nul pour assurer son extinction : il faut que le milieu jusque là ionisé se régénère diélectriquement pour résister à la tension du réseau encore présente. Ces phénomènes de régénération par recombinaison des ions + ou - et des électrons sont heureusement très rapides. Aussi dans la pratique, pour que le courant d'arc reste nul, la tension du réseau doit donc être inférieure à la caractéristique de régénération (U_d). Si la tension d'arc devient et reste supérieure à la tension réseau (en valeur absolue s'il s'agit de tension alternative), le phénomène de Régénération sera amorcé pendant l'approche du zéro de courant, le nombre de charges électriques du plasma s'ajuste au strict minimum et devient nul en même temps que le courant. Mais l'arc et les capacités parasites ont la même tension jusqu'à l'extinction du courant d'arc. Une fois le courant d'arc annulé, cette tension rejoint la tension du réseau par un phénomène d'oscillation libre entre ces capacités réparties et les constantes L et R du circuit. Ce «raccordement» en tension est appelé Tension Transitoire de rétablissement «TTR». Ces capacités étant faibles, ces oscillations ont une fréquence très élevée et sont très amorties.

Ces conditions ont lieu :

- **Sous tension continue :**

La tension d'arc U_a est supérieure à la tension de réseau U_r au moment où le courant s'annule et la caractéristique de régénération U_d reste supérieure à U_r avec TTR

- **Sous tension alternative**

Quand la valeur instantanée de la tension du réseau est encore de même signe que la tension d'arc au moment du zéro de courant. La condition de coupure définitive sera que l'évolution ultérieure de la tension réseau ne recoupe plus les caractéristiques de régénération, tant en valeurs positives que négatives. Quand la valeur instantanée de la tension du réseau est de signe opposé à la tension d'arc, mais de valeur absolue inférieure.

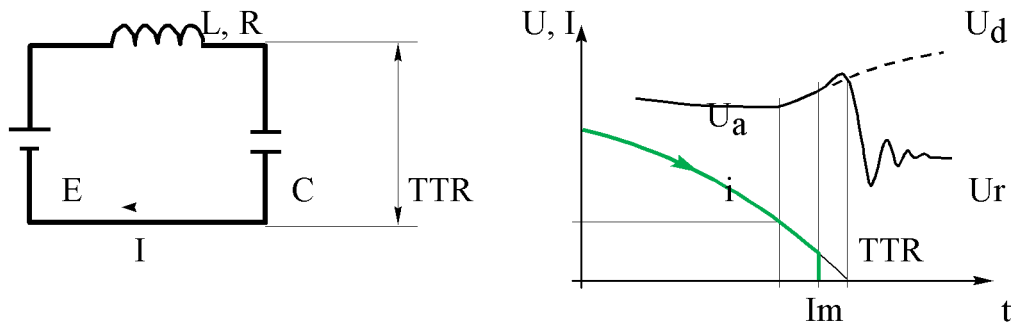
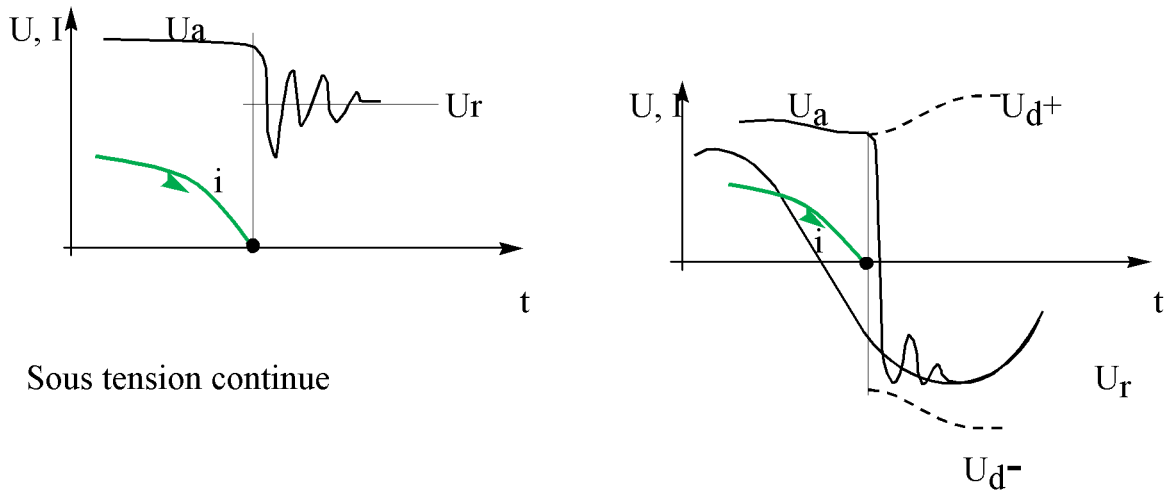


Figure II-6 : La tension transitoire de rétablissement, TTR



Sous tension continue

Sous tension alternative avec U_r de même signe que U_a à l'instant du zéro.

Figure II-7 : tension transitoire continue et alternative

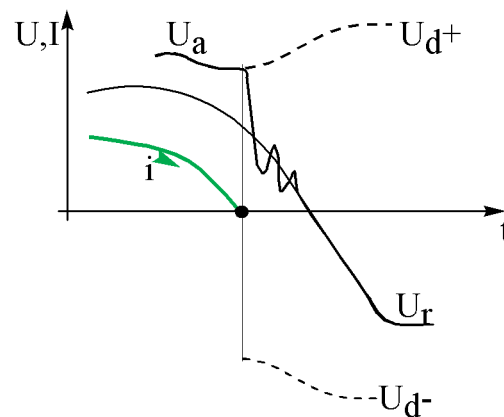


Figure II-8 : Sous tension alternative avec U_r de signe opposé à U_a .

L'extinction de l'arc est définitive si la TTR ne dépasse pas la caractéristique de régénération. Dans le cas contraire, la TTR coupant la «courbe» de régénération, il peut s'en suivre l'apparition de courant post-arc de type électroluminescent. Et alors :

- si le courant post-arc reste de type grêle, des conditions d'extinction subsistent.
- si le courant post-arc dépasse une valeur critique sous une tension également critique, il s'en suivra un redémarrage du courant d'arc et il faudra attendre un prochain «zéro» pour couper.

II.5 Inconvénient et danger de l'arc électrique

L'arc électrique a de nombreux inconvénient et parmi eux on peut citer [4]:

- Pas de rupture instantanée du circuit.
- Dégradation des contacts par micro-fusion (matière "arrachée") et risques de soudure.
- Contraintes thermiques élevées (température d'arc de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de degrés) avec risques de brûlure pour les personnes, d'incendie pour le matériel.
- Onde parasite, rayonnement U-V.

II.6 Processus de coupure avec l'arc [8]

La coupure par l'arc électrique se fait en trois phases principales.

- a- La période d'attente.
- b- La période d'extinction
- c- La période Post-Arc

II.6.1 La période d'attente

Période entre l'ouverture des contacts et le zéro du courant où l'arc électrique est constitué d'une colonne de plasma composée d'ions et d'électrons. Cette colonne est conductrice sous l'effet d'une température élevée due à l'énergie dissipée par l'arc. La tension entre les deux contacts s'appelle la tension d'arc et c'est une composante très importante dans le choix du milieu de coupure, car elle définit la valeur de l'énergie dissipée.

II.6.2 La période d'extinction :

Au moment de passage par zéro du courant, l'arc est éteint, le canal des molécules ionisées est cassé, le milieu redevient isolant et le courant est interrompu. La résistance de l'arc doit augmenter au voisinage du zéro du courant, et dépend de la constante d'ionisation du milieu. Aussi, la puissance de refroidissement de l'appareil doit être supérieure à l'énergie de l'arc dissipée par effet joule.

II.6.3 La période Post-Arc :

Pour que la coupure soit réussie, il faut que la vitesse de régénération diélectrique soit plus rapide que l'évolution de la tension transitoire de rétablissement TTR, sinon on assiste à un phénomène de réallumage ou réamorçage de l'arc.

II-7CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons caractérisé le sens de l'arc électrique et ses propriétés afin d'éclaircir ses conditions de formations pour bien caractérisé ses danger et inconvénients, pour ensuite se focalisé sur les couper de se dernier dans la suite de notre travail.

III.1 Introduction

Après un régime transitoire de fermeture le courant devient stable, dit en régime établi, le courant ne pourrait être annulé définitivement que si la tension devient nulle, ou si la résistance devient infini. A ces deux extrêmes, qui seraient trop contraignants en exploitation, il s'est avéré préférable d'introduire un arc dans le circuit pour utiliser ses propriétés de tension et ses conditions d'extinction et cela on analysons les couper de l'arc dans ce qui suit. [5]

III.2 Couper des courants établis

III.2.1 Définition

Par courants établis, il faut entendre courants nominaux, courants de surcharge et courants de court-circuit qui ont atteint une valeur stable quelconque au moment de l'ouverture du circuit. L'ouverture du circuit peut être : soit volontaire, commandée par l'utilisateur, indépendamment de la valeur du courant et soit «réflexe», par l'action d'un dispositif, sensible à la valeur même du courant, qui commande directement ou indirectement l'ouverture du circuit. Pour des raisons de simplicité, les conditions de coupure sont étudiées sous tension continue et puis sous tension alternative. [6]

III.2.2 Couper sous une tension continue

La tension continue est de la forme $u(t) = E$, Jusqu'à ouverture du circuit.

le courant évolue selon la formule :

$$i = \frac{E}{R} \quad (\text{III.1})$$

Après ouverture :

$$E - R i - L \frac{di}{dt} - U_a = 0 \quad (\text{III.2})$$

Dès l'ouverture des contacts, U_a évolue vers une valeur maximale U_a . La loi d'Ohm généralisée montre que le courant ne pourra être forcé vers zéro que si U_a devient

Supérieur à E. Sinon, celui-ci évoluera vers :

$$i = \frac{E - U_a}{R} \quad (\text{III.3})$$

L'équation étant non nulle. Dans le but de couper le courant, il est dès lors plus simple et suffisamment démonstratif de considérer cette tension d'arc comme une fonction échelon, $u_a = U_a$ pour $t > t_0$, ($t_0 =$ instant où $u_a = E$).

Le calcul complet donne alors :

$$I_a = \frac{E}{R} - \frac{U_a}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (\text{III.4})$$

$$t_a = \tau \log \frac{U_a}{U_a - E} \quad (\text{III.5})$$

En considérant qu'il y a coupure dès l'instant où le courant passe par zéro (un courant «négatif» qui serait dû à la prépondérance du U_a par rapport à U_r n'ayant aucun sens physique). Le calcul de l'intégrale :

$$W_a = \int_{\tau}^{t_a} U_a i_a dt \quad (\text{III.6})$$

$$W_a = \left(\frac{1}{2} Li^2 \right) 2 \frac{U_a}{E} \left(1 + \left(1 - \frac{U_a}{E} \right) \log \frac{U_a}{U_a - E} \right) \quad (\text{III.7})$$

L'interprétation de cette expression est plus aisée en posant $W_{L0} = (1/2 Li^2)$, et en

Observant les courbes (W_a/W_{L0}) , et (t_a/t) en fonction de (U_a/E) .

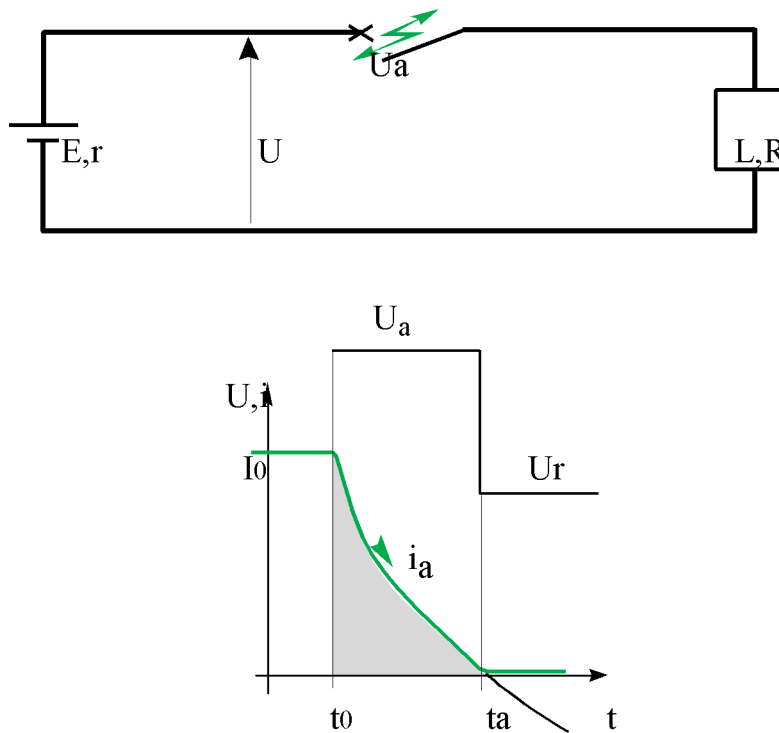


Figure III-1 : Coupure sous tension continue.

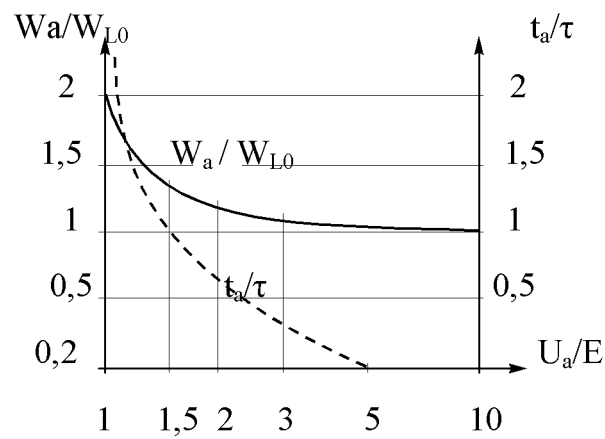


Figure III-2 : courbes W_a/W_{L0} et t_a/τ

Ces courbes montrent :

- si $U_a = E$ alors $W_a/W_{L0} = 2$ seulement ! Mais le temps de coupure est infini !
- si U_a est très grand, voire infini alors : $W_a/W_{L0} = 1$.

L'énergie d'arc est égale à l'énergie selfique initiale, et le temps de coupure est quasiment nul : la puissance de l'arc W_a/t_a très élevée que le coude de la courbe W_a/WL_0 est un optimum pratique, et donc que $1,5 \ll 2,5$ est un bon compromis alors $W_a \gg 1,2 WL_0$ et $t_a \gg t$. Le coefficient 1,2 (relevé sur la courbe) est très satisfaisant parce qu'elle est proche du minimum.

III.2.3 Couper sous une tension alternative monophasée

Dès la séparation des contacts, l'arc apparaît, et l'évolution de sa tension dans le temps peut paraître complexe. Néanmoins, u_a est toujours du même signe que « i » et sa valeur absolue moyenne tend vers U_a comme nous le montre la figure suivante.

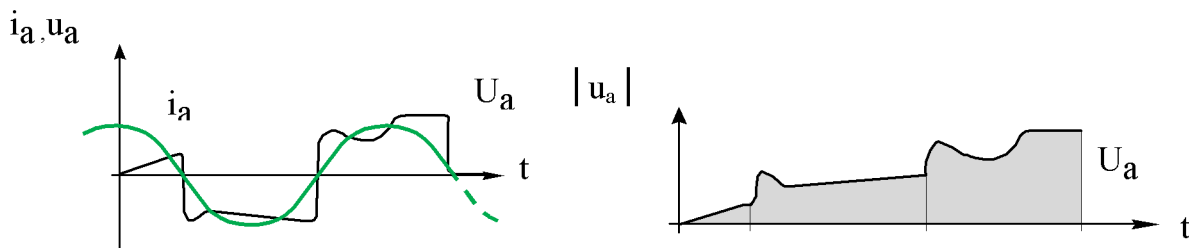


Figure III-3 : Coupure sous tension alternative

L'étude mathématique de i_a , t_a et W_a , à partir de la loi d'Ohm généralisée

$$u - R i - L \frac{di}{dt} - u_a = 0 \quad (\text{III.8})$$

Est toujours possible mais moins aisée. De plus, ces seuls calculs ne prenant pas en compte les conditions de rétablissement en tension d'une réelle coupure en alternatif, l'analyse de deux cas s'impose:

- $U_a \geq E$
- $U_a \ll E$

a. si $U_a \geq E$:

La tension d'arc contribue à forcer le courant vers le zéro et à y rester. Ceci quel que soit le déphasage du courant par rapport à la tension, cela est montré sur la figure suivante.

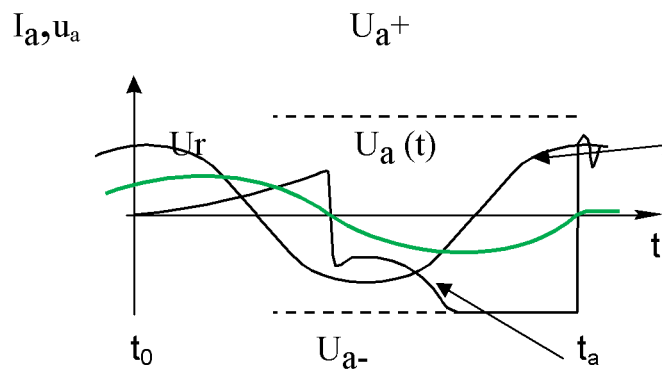


Figure III-4 : $U_a \geq E$

b. si $U_a \ll E$:

La coupure reste possible et globalement plus aisée qu'en continu puisqu'il y aura des zéros «naturels» du courant i . La réussite de la coupure est conditionnée par des phénomènes postarcs à chaque zéro de courant, cette condition se résumant à une course de vitesse entre la régénération diélectrique de l'arc et la tension du réseau.

Examinons deux possibilités qui sont les suivantes :

- si le symétrique de U_a acquis à un zéro de courant est supérieur à la tension du réseau à cet instant le TTR comprise, alors la courbe d'évolution de la régénération diélectrique reste plus grande que la tension et alors il y a coupure.

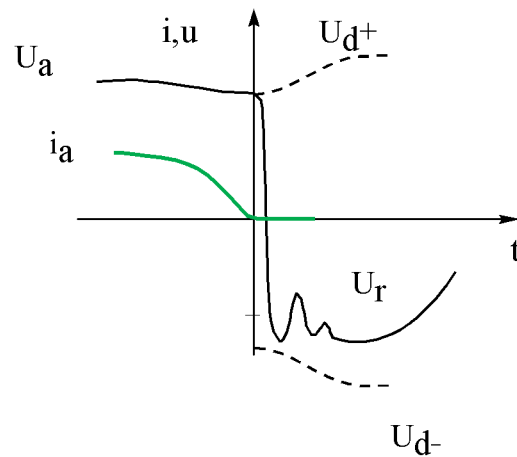


Figure III-5 : $U_a \ll E$ de courant supérieur.

- Si le symétrique de U_a acquis à un zéro de courant est inférieur à la tension réseau à cet instant, le TTR comprise, alors cette tension du réseau risque de couper la courbe de régénération diélectrique si celle-ci est trop lente. Dans ce cas l'arc peut se réamorcer, il y aura non coupure.

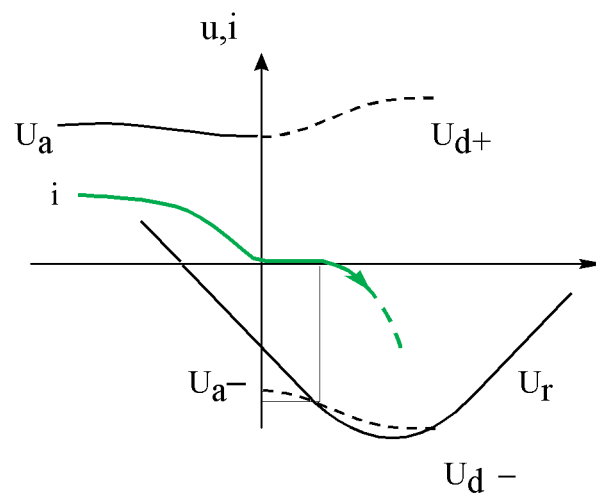


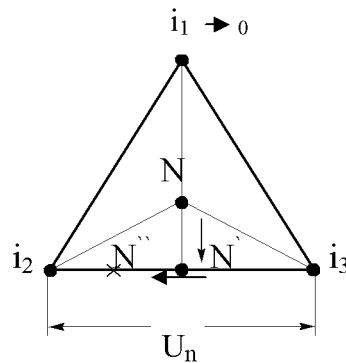
Figure III -6 : $U_a \ll E$ de courant inférieur.

Dans ces deux possibilités l'influence du facteur de puissance $\cos \varphi$ du circuit à couper est importante du fait du déphasage des zéros de courant par rapport à la valeur de la

tension du réseau. En particulier, si $\cos \varphi = 1$, tension et Courant sont nuls en même temps, et la coupure est très facile.

III.2.4 Sous une tension alternative triphasée

Lorsque le neutre est distribué, les conditions de coupure sous une tension triphasée sont les mêmes que sous une tension monophasée, en raisonnant en tension simple, phase par phase. Lorsque le neutre n'est pas distribué le point de court-circuit définit un point neutre flottant. Comme nous le montre la figure suivante.



$$i_1=0$$

$$i_2=i_3$$

N'' et N' =neutre flottant

Figure III-7 : Neutre non distribué

Le premier pôle qui coupe devra supporter une tension de rétablissement égale à une tension semi-composée du fait que le point neutre se déplace de N vers N'tend vers N''. Le rétablissement en tension se trouve ainsi pénalisé d'un facteur 1,5.

Les deux pôles restants sont en série pour assurer la coupure définitive sous une tension composée. Cette fin de coupure est favorisée si chaque phase a une tension d'arc U_a .

Néanmoins ce n'est guère plus aisé que de couper le même courant sur une seule phase en tension simple (0,86 au lieu de 1 et de plus la moindre faiblesse diélectrique d'un pôle amènerait l'autre à couper sous tension composée).

III.3 Couper des courants présumés

III.3.1 Définition

Dans une installation on appelle par courant présumé, le courant qui circulerait dans un circuit, si chaque pôle de l'appareil de connexion, ou le fusible, était remplacé par un conducteur d'impédance négligeable (CEI 60050).

Dans un circuit d'essais d'appareillage, c'est le courant d'étalonnage. [6][9][4]

III.3.2 Sous une tension continue

L'évolution du courant est sous la forme suivante

$$I = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/\tau}) = I_P (1 - e^{-t/\tau}) \quad (\text{III.9})$$

III.3.3 Sous une tension alternative monophasée

L'évolution du courant transitoire est due à l'instant d'apparition du défaut ou de fermeture par rapport à la valeur de la tension du réseau. En caractérisant cet instant d'apparition par son angle d'enclenchement α , la tension peut s'écrire sous la forme

$$U = E \sin(\omega t + \alpha) \quad (\text{III.10})$$

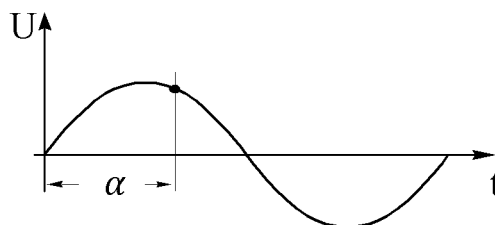


Figure III-8 : Évolution du courant sous tension alternative

L'évolution du courant est de la forme :

$$I = \frac{E}{R} \left[\sin(\omega t + \alpha - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{L}t} \right] \quad (\text{III.11})$$

Avec deux composantes

- l'une alternative, déphasée de φ par rapport à la tension.
- l'autre continue, tendant vers zéro pour t tendant vers l'infini.

Remarque :

Deux cas particuliers sont définis par :

- ✓ $\alpha = \varphi$, dit régime symétrique

Le courant est de la forme :

$$I = \frac{E}{R} \sin \omega t \quad (\text{III.12})$$

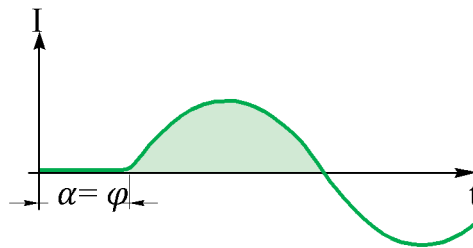


Figure III-9 : Évolution du courant sous tension alternative avec i
Symétrique.

Le courant a, dès le départ, la même allure qu'en régime établi et une valeur crête E/Z .

- ✓ $\alpha = 0$ dit régime asymétrique.

Le courant est de la forme :

$$I = \frac{E}{R} \left[\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\varphi) e^{-\frac{R}{L}t} \right] \quad (\text{III.13})$$

Ainsi la première valeur crête du courant est en fonction du $\cos \varphi$ du circuit

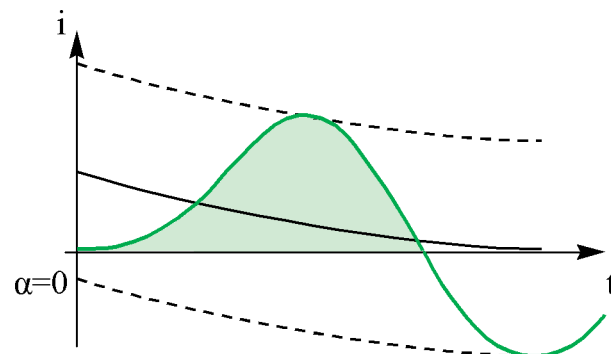


Figure III-10 : Evolution du courant sous tension alternative avec i asymétrique.

III.3.4 Sous une tension alternative triphasée

Le courant dans chaque phase peut donner lieu aux mêmes cas particuliers (symétrique et asymétrique) qu'en monophasé. De toute façon, quelque soit α il y a presque toujours

- une phase en régime quasi-symétrique.
- une phase en régime quasi-asymétrique.
- la dernière phase étant dite en «petite boucle».

III.4 Coupure avec limitation

III.4.1 Définition

Il est entendu par cette expression, que des dispositions sont prises pour empêcher le courant de court-circuit d'atteindre la valeur crête maximale de son courant présumé. L'enjeu pratique est important et souvent indispensable pour éviter des dégâts dans l'installation. Cette limitation ne sera obtenue grâce à l'arc que si sa tension d'arc devient rapidement plus grande que la tension du réseau et s'y maintient. [6]

III.4.2 Sous une tension continue

La tension continue est de la forme $u(t) = E$.

Jusqu'à ouverture du circuit, le courant évolue selon la formule

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = I_p \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (\text{III.14})$$

Après ouverture du circuit, une tension d'arc apparaît. Si celle-ci croît rapidement, son évolution globale peut être assimilée à une fonction échelon dont le front de montée serait défini par : $U_a = E$ à un instant t_0 . Le courant ayant alors atteint une valeur I_0 décroît ensuite d'une façon exponentielle et s'annule après un temps $t_a < \tau$. (Voir la figure III-6)

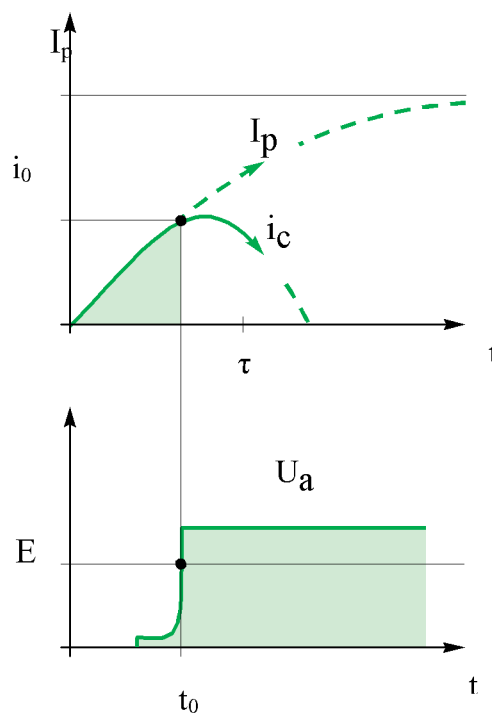


Figure III-11: Limitation sous tension continue.

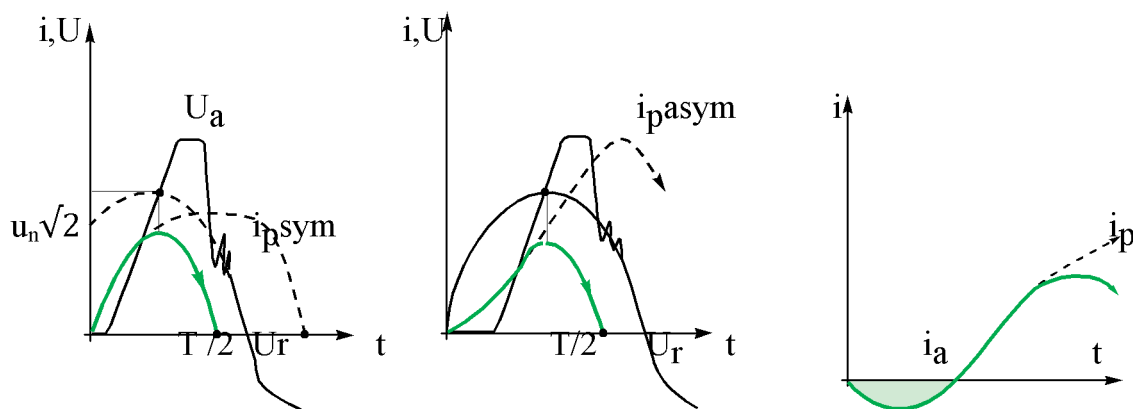
III.4.3 Sous une tension alternative monophasée

En condition de limitation, la coupure d'un tel courant se fait comme s'il s'agissait momentanément d'une coupure sous tension continue.

- Dans le cas du régime symétrique, en particulier, il est quasiment équivalent de considérer une coupure sous courant présumé avec une tension réseau $E = U_n$

- Dans le cas du régime asymétrique, la limitation est souvent meilleure car la tension d'arc «coupe» la tension réseau avant que le courant n'ait fortement évolué
- Dans tous les cas intermédiaires, avec petite boucle, la coupure avec limitation peut n'avoir lieu que lors de la deuxième demi onde de courant, la première ayant été trop faible en intensité.

C'est trois cas sont schématisé par les figures suivantes :



i_p : petite boucle

Figure III-12 : Limitation sous tension alternative monophasée

Remarque : Une limitation performante sur forts courants de court-circuit, ne peut être obtenue que si la tension d'arc intervient dans un temps très inférieur à $t/4$.

III.4.4 Sous une tension alternative triphasée

Deux cas sont à considérer dans ce genre de tension qui sont comme suit :

a.1^{er} cas : ouverture indépendante des pôles [4][6]

Chaque phase fait apparaître une tension d'arc en fonction du courant qui la traverse
En première approche, tout se passe comme si :

- ✓ une des phases coupe en régime symétrique monophasé mais dont le rétablissement en tension se fait sous une tension semi-composée.

- ✓ enfin, les deux autres phases assurent une coupure en biphasé d'une «queue de courant».

b.2^{ème} cas : ouverture simultanée des pôles

Le courant de la phase en régime symétrique réagit, le premier, sur un dispositif de déclenchement qui assure une ouverture omnipolaire très rapide.

Dans les deux cas les tensions d'arc se développent sur les trois phases à partir du même instant. Tout se passe comme si la phase en régime quasi-symétrique était coupée sous sa tension composée avec une tension d'arc doublée. Cette ouverture omnipolaire doit se faire dans un temps $< T/4$ et aura une efficacité maximale pour $< T/8$, la phase en «petite boucle» étant alors coupée bien qu'ayant vu peu de courant.

Un tel comportement en coupure :

- a lieu sur des dispositifs à faible inertie totale des pièces en mouvement ;
- est recherché sur de gros appareils à énergie de manœuvre externe ultra rapide (à effet Thomson avec décharge capacitive par exemple). [9]

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé des différents moyens de couper le courant que l'arc électrique peut provoquer afin de mieux comprendre ce phénomène et son avenir car aujourd'hui encore, l'arc électrique reste un moyen très adapté à la coupure avec limitation des courants en basse tension. Ainsi rappelons que la protection des circuits électriques nécessitera l'utilisation des disjoncteurs. Ces derniers utilisent les propriétés de l'arc pour couper. Le chapitre suivant fera donc l'objet d'étude des différents disjoncteurs.

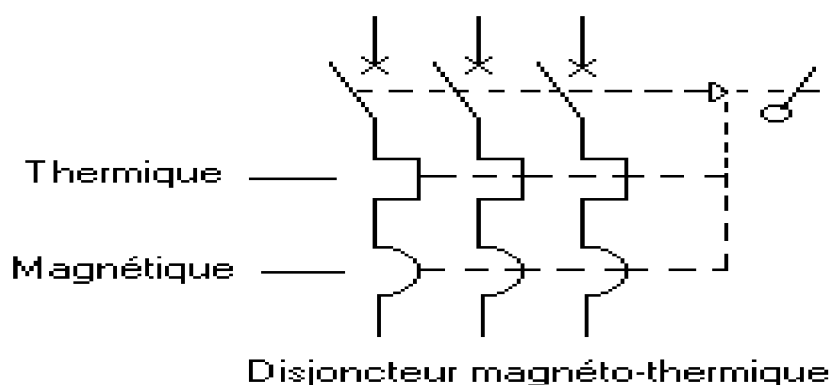
IV.1 Introduction

Les disjoncteurs sont des éléments clé 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. Il existe trois différents types de disjoncteur comme, le disjoncteur basse tension (tension inférieure à 1KV), moyenne tension (tension 1KV-52KV) et haute tension (52KV-800KV). Dans le cadre de ce travail on s'intéresse à tous ces types. [4]

IV.2 Définition [6] [7]

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. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est réarmable. Il s'ouvre alors automatiquement. Après élimination du défaut, il suffit de le réarmer par une action manuelle sur la manette.

Il est symbolisé comme suite :



IV.3 Choix des disjoncteurs

Le choix d'un disjoncteur s'effectue en fonction :

- de la norme d'installation : ex NF C 15-100, (installation domestique - type de récepteur - intensité d'emploi - courbes de fonctionnement)
- des normes produites,
- des caractéristiques du réseau (tension, fréquence),
- de l'environnement (type de local, température, section et nature des câbles en aval),
- des impératifs d'exploitation (sélectivité, auxiliaires de commande,...).[11]

IV.3.1 Caractéristiques fondamentales [7]

- ✓ **Tension assignée d'emploi U_e :** c'est la tension au quelle l'appareil peut être utilisé.
- ✓ **Courant assignée d'emploi I_n :** c'est la valeur maximale du courant que peut supporter un disjoncteur équipé d'un déclencheur à une température ambiante précisée par le constructeur.
- ✓ **Courant de réglage I_r :** courant maximal que peut supporter le disjoncteur, sans déclenchement. Il peut être réglable de $0.7I_n$ à I_n pour les déclenchements thermiques, de $0.4I_n$ à I_n pour le déclenchement électronique.
- ✓ **Courant de fonctionnement I_m :** courant qui provoque le déclenchement pour les fortes intensités. Il peut être fixe ou réglable et peut varier entre $1,5 I_n$ et $20 I_n$.
- ✓ **Pouvoir de coupure I_{cu} ou I_{cn} :** plus grande intensité de courant de court-circuit qu'un disjoncteur peut interrompre sous une tension donné. Il s'exprime en kA efficace. I_{cu} est le pouvoir de coupure des disjoncteurs industriels, ainsi que I_{cn} est le pouvoir de coupure des disjoncteurs domestiques.
- ✓ **Pouvoir de limitation :** c'est la capacité d'un disjoncteur à ne laisser passer qu'un courant inférieur au celui de court-circuit.

IV.4 Constitution du disjoncteur [11] [7]

Le disjoncteur est constitué de plusieurs éléments cite comme suite :

- | | |
|--|------------------------------|
| 1-Chambre de coupure de l'arc électrique | 2- Sous- ensemble magnétique |
| 3- Sous-ensemble thermique | 4-Contact fixe |
| 5-Contact mobile | 6- Déclencheur |

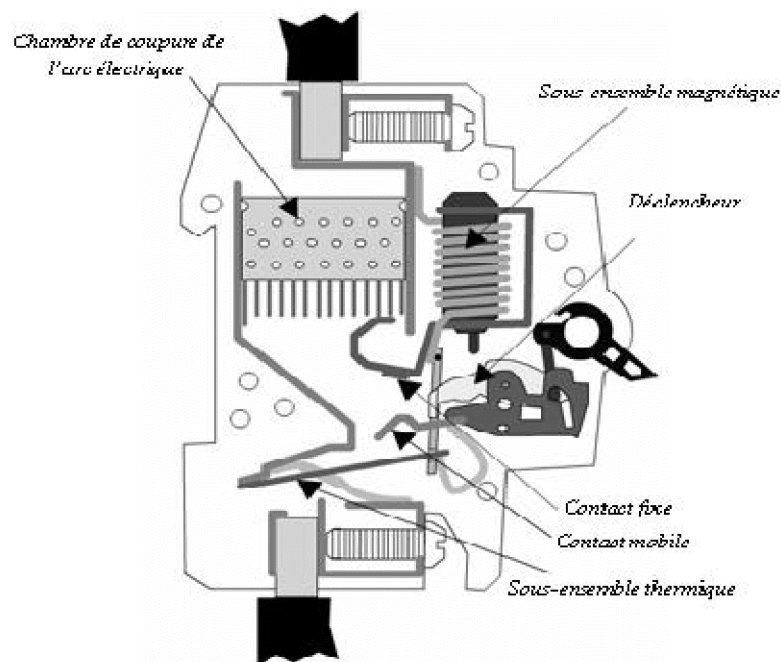


Figure IV-1: la constitution d'un disjoncteur

3) Sous-ensemble thermique

Provoquer l'ouverture des contacts en cas de surcharge de faible importance. Il est constitué de plusieurs éléments :

- bilame (1)
- déclencheur (4)
- sous-ensemble serrure(7)
- vis (2)
- biellette (5)
- contact mobile (8)

- entraîneur (3)
- ressort de contact (6)
- ressort de rappel de la manette (9)

- **Son Réglage**

Le positionnement de la vis détermine l'origine de la course de la bilame.

Une augmentation du courant par surcharge provoque l'échauffement et la déformation de celle-ci par la dilatation différentielle des deux alliages laminés à froid qui la constituent.

La diversité des calibres peut être obtenue par l'utilisation de bilames dont la partie active a une résistivité différente.

La largeur totale de la bilame reste toutefois constante (5mm dans la grande majorité des cas).

Pour des intensités comprises entre 1,13 In et 1,45 In, le déclenchement du disjoncteur intervient au maximum 1 heure après le début de la surcharge.

- **Fonctionnement**

La dilatation vers le bas du bilame provoque dans l'ordre :

- a) la descente de l'entraîneur
- b) la rotation du déclencheur
- c) la libération de la biellette de son encoche
- d) la détente du ressort de contact
- e) la rotation du sous-ensemble serrure
- f) l'ouverture des contacts
- g) le déplacement de la manette
- h) le retour de la biellette dans son encoche (grâce au ressort de rappel de la manette)

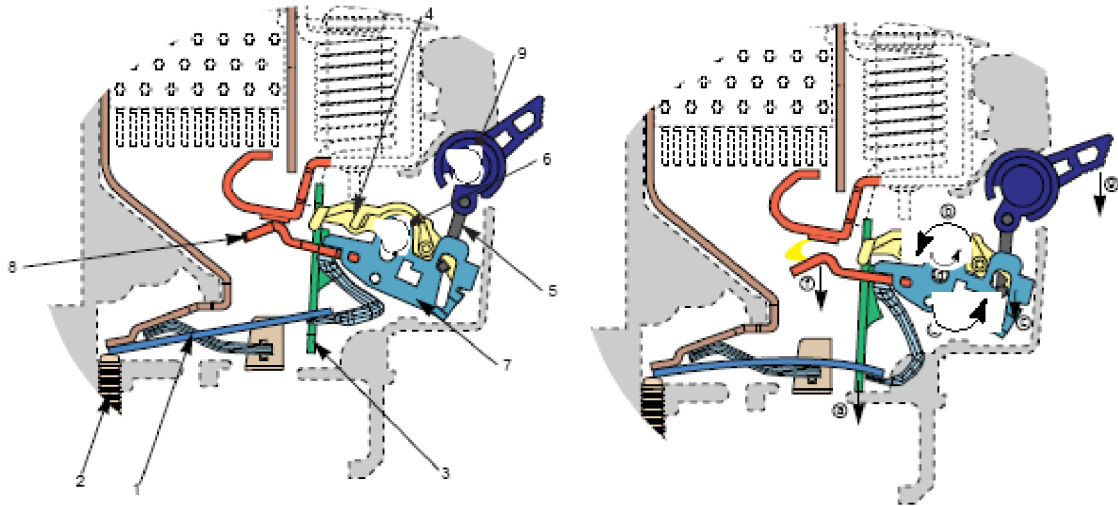


Figure IV-2: sous ensemble thermique.

2) Sous-ensemble magnétique

Provoquer l'ouverture des contacts en cas de surcharge importante ou de court-circuit.

Il est constitué de plusieurs éléments tels que :

- bobine (10)
- ressort calibré(13)
- noyau mobile(11)
- percuteur (14)
- noyau fixe (12)

Le champ magnétique créé autour de la bobine est proportionnel au **courant** qui la traverse et au nombre de **spires**.

Le ressort s'oppose à l'attraction du noyau mobile vers le noyau fixe.

Le choix des courbes de déclenchement se fait par l'emploi de ressorts différents.

• Fonctionnement

Lors d'un court-circuit important, le champ magnétique qui en résulte produit dans l'ordre :

- a) l'attraction du noyau mobile vers le noyau fixe
- b) la compression du ressort calibré
- c) le déplacement du percuteur
- d) la rotation du déclencheur

L'ouverture des contacts est directement réalisée par l'impact violent du percuteur sur le déclencheur qui répercute cet impact sur les contacts (phénomène "d'arrachage des contacts")

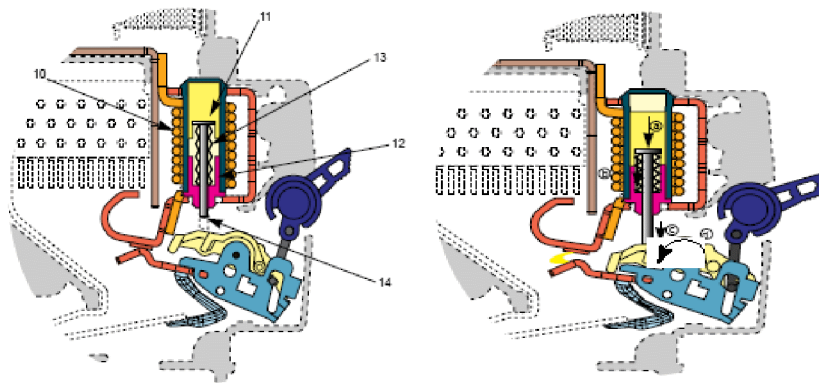


Figure IV-3 : sous ensemble magnétique.

3) Chambre de coupure

Le rôle de la chambre de coupure est d'attirer et d'éteindre l'arc lors d'un court-circuit qui se développe entre les contacts pendant la coupure. Il est aussi constitué de trois éléments :

- Joues latérales(15)
- Tôle d'arc(16)
- Tôles de d'ionisation(17)

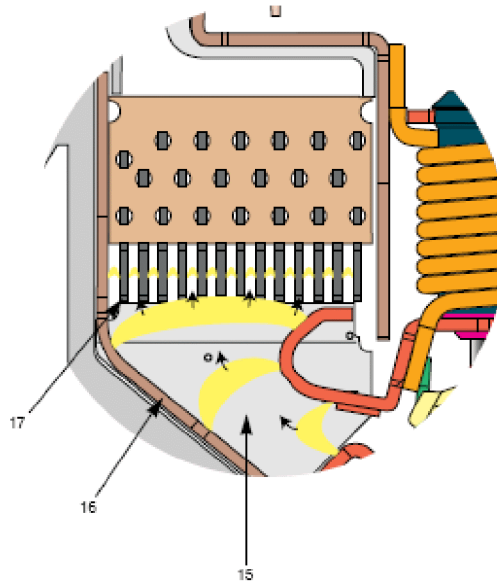


Figure IV-4: chambre de coupure.

- **Fonctionnement**

Dès la séparation des contacts, l'arc est déplacé vers la chambre de coupure sous l'effet de la force dite de Laplace, induite par la géométrie des contacts fixe et mobile. Au cours du trajet entre les contacts et la chambre, l'arc est canalisé entre deux joues qui permettent :

- d'augmenter sa vitesse de déplacement,
- de guider sa trajectoire,
- de l'allonger.

De par leur constitution et du fait de l'augmentation de température, les joues latérales libèrent un gaz qui contribue à la déionisation de l'air. Puis, pénétrant dans les **déions** (languettes d'acier cuivré), l'arc est divisé en plusieurs arcs élémentaires. La déionisation de l'air à l'intérieur de la chambre est également obtenue par refroidissement et évacuation de l'air ionisé hors du produit. Pour cela, on utilise la masse des déions et l'échappement vers l'extérieur, sur le haut du produit.

L'arc peut être assimilé à une impédance qui s'ajoute à celle du disjoncteur et qui a pour effet :

- d'une part de limiter la valeur du courant de court-circuit,

- d'autre part de générer une différence de potentiel appelée "tension d'arc" (U_{arc}) entre ses bornes.

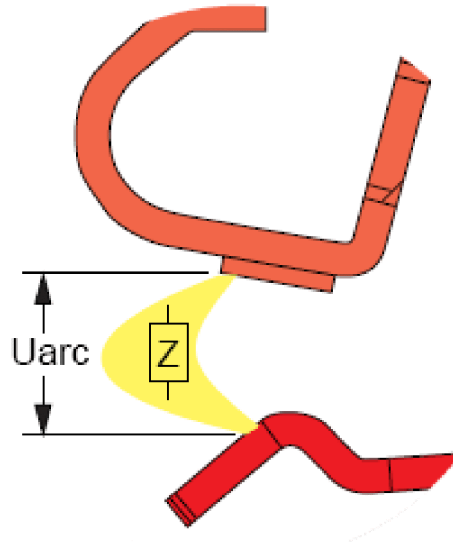


Figure IV-5 : création de l'arc électrique

- **Tension d'arc**

- 1) Les contacts sont fermés, la tension d'arc est nulle.
- 2) A l'ouverture des contacts, dès détection du court-circuit, une tension d'arc se développe. Dès qu'elle est supérieure à la valeur de la tension du réseau (**point A**), l'intensité de court-circuit diminue (**point B**) jusqu'à la valeur 0 (**point O**).

L'arc est éteint, le courant est coupé.

Ce phénomène a pour effet :

- d'une part de limiter le courant de court-circuit (15 kA présumés sont réduits à 5 kA),
- d'autre part de réduire le temps de coupure du court circuit (10 ms sont ramenées à 5ms).

Il en résulte que, pour limiter à la fois la valeur du courant (**point B**) et le temps de coupure (**point O**), donc l'énergie dégagée, la tension d'arc doit être le plus rapidement possible supérieure à la valeur de la tension de réseau (**point A**). Ce principe est utilisé pour la limitation et la coordination des disjoncteurs.

La valeur de cette tension d'arc dépend de trois paramètres sur lesquels il faut agir :

- le nombre de subdivisions de l'arc électrique dans les déions afin de multiplier les chutes de tension anodiques,
- la longueur de l'arc,
- le degré d'ionisation de l'air à proximité de l'arc.

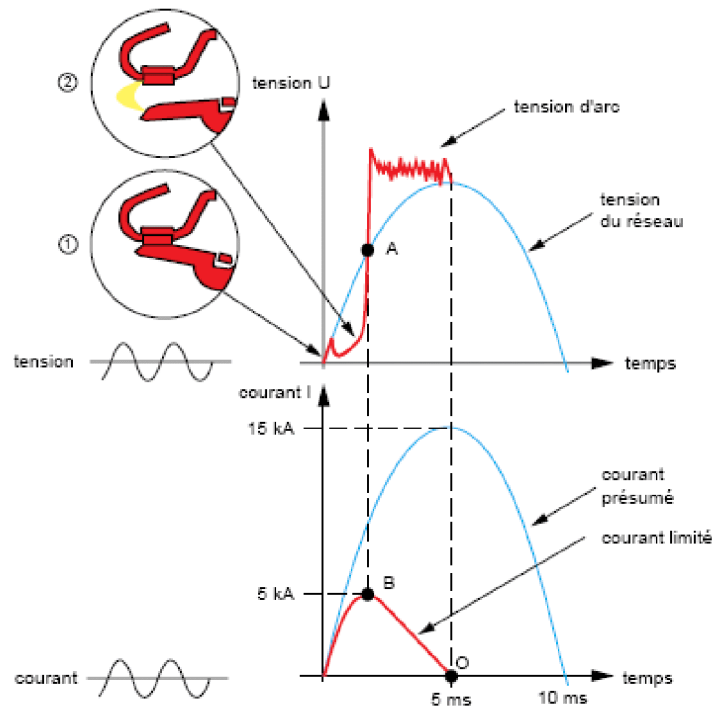


Figure IV-6 : tension et courant de l'arc électrique

IV.5 Différents techniques utilisées [7]

V.5.1 thermique

Une surcharge de courant traversant un bilame (chauffage direct) ou traversant des spires de fil chauffant un bilame, crée par effet joule un échauffement et la déformation du dit bilame. Ce bilame déclenche mécaniquement un contact, qui ouvre le circuit électrique protégé.

- ce système électromécanique est assez simple et robuste.
- par contre, il n'est pas très précis et son temps de réaction est relativement lent à cause du but.

C'est l'une des fonctions classiquement remplie par un fusible gG (anciennement gl-usage général)

La protection thermique a pour principale fonction la protection des conducteurs contre les échauffements dus aux surcharges prolongées de l'installation.

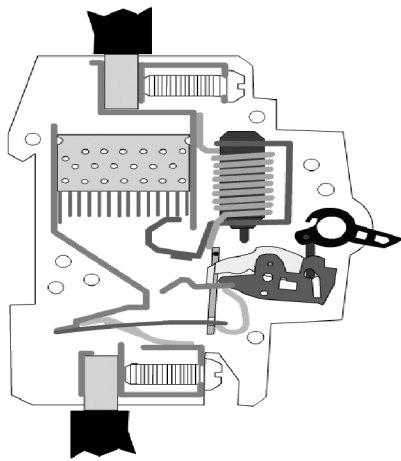


Figure IV-7 : Etat du bilame surchauffé

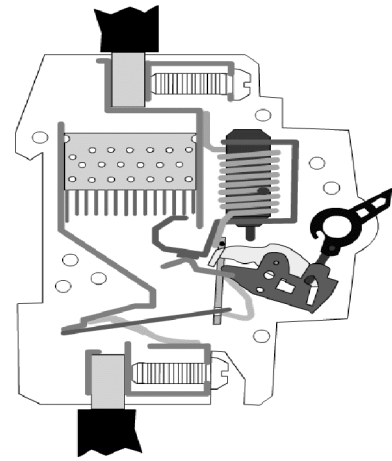


Figure IV-8 : Etat normale du disjoncteur

IV.5.2 Magnétique

Un bobinage détecte le champ électromagnétique généré par le courant traversant le disjoncteur, lorsqu'il détecte une pointe de courant supérieur à la consigne, l'interruption est "instantanée" dans le cas d'une bobine rapide ou "contrôlée" par un fluide dans la bobine qui permet des déclenchements retardés. Il est généralement associé à un interrupteur de très haute qualité qui autorise des milliers de manœuvres.

- Ce fonctionnement peut remplacer le fusible sur les courts-circuits ;
- Suivant le type de disjoncteur, la valeur d'intensité de consigne va de 3 à 15 fois l'intensité nominale (pour les modèles courants) ;
- Nombreuses courbes de déclenchement pour CC, CA 50/60 Hz et 400 Hz

C'est la fonction remplie par un fusible à protection des moteurs. La protection magnétique a pour principale fonction la protection des équipements contre les défauts (surcharge de l'équipement, court-circuit, panne, ...). Il est choisi par l'ingénieur qui a le souci de protéger son équipement avec une très grande précision.

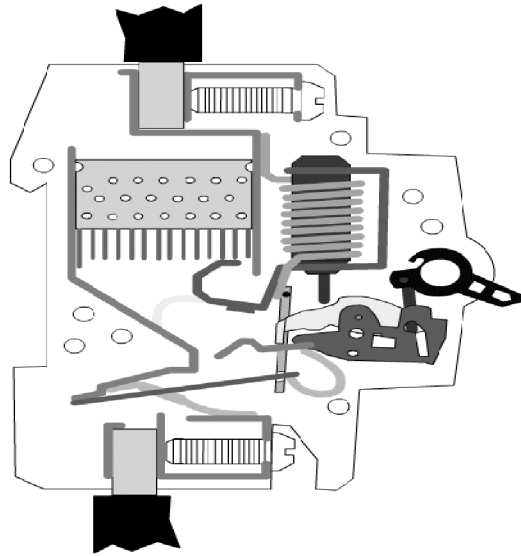


Figure. IV.9 : Etat d'un cas de court –circuit.

IV.5.3 Différentielle

Un disjoncteur différentiel est un interrupteur différentiel réalisant également une protection en courant de court-circuit (surcharge).

Le principe d'un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) est de comparer les intensités sur les différents conducteurs qui le traversent. Par exemple, en monophasé, il compare l'intensité circulant dans le conducteur de phase, et celle du conducteur de neutre. C'est un appareil de protection des personnes et de détection des courants de fuite à la terre de l'installation électrique.

Le dispositif différentiel est basé sur le principe suivant : dans une installation normale, le courant électrique qui arrive par un conducteur doit ressortir par un autre. Dans une installation monophasée, si le courant dans le conducteur de phase au départ d'un circuit électrique est différent de celui du conducteur neutre, c'est qu'il y a une fuite. La différence d'intensité du courant à laquelle réagit un disjoncteur est appelée la

"sensibilité différentielle du disjoncteur" (obligatoirement 30 mA sur les circuits terminaux domestiques), notée $I\Delta n$ ("i delta n").

Son fonctionnement est très simple : chaque conducteur passe dans un tore magnétique, formant ainsi des champs électromagnétiques de force identique et en opposition qui s'annulent. En cas de différence, d'où son nom de différentiel, le champ électromagnétique résultant actionne un dispositif qui coupe immédiatement le courant.

On doit avoir donc :

- ❖ **Monophasé :** $\vec{I}_{ph} + \vec{I}_N = 0$
- ❖ **Triphasé sans neutre:** $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = 0$
- ❖ **Triphasé avec neutre :** $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N = 0$

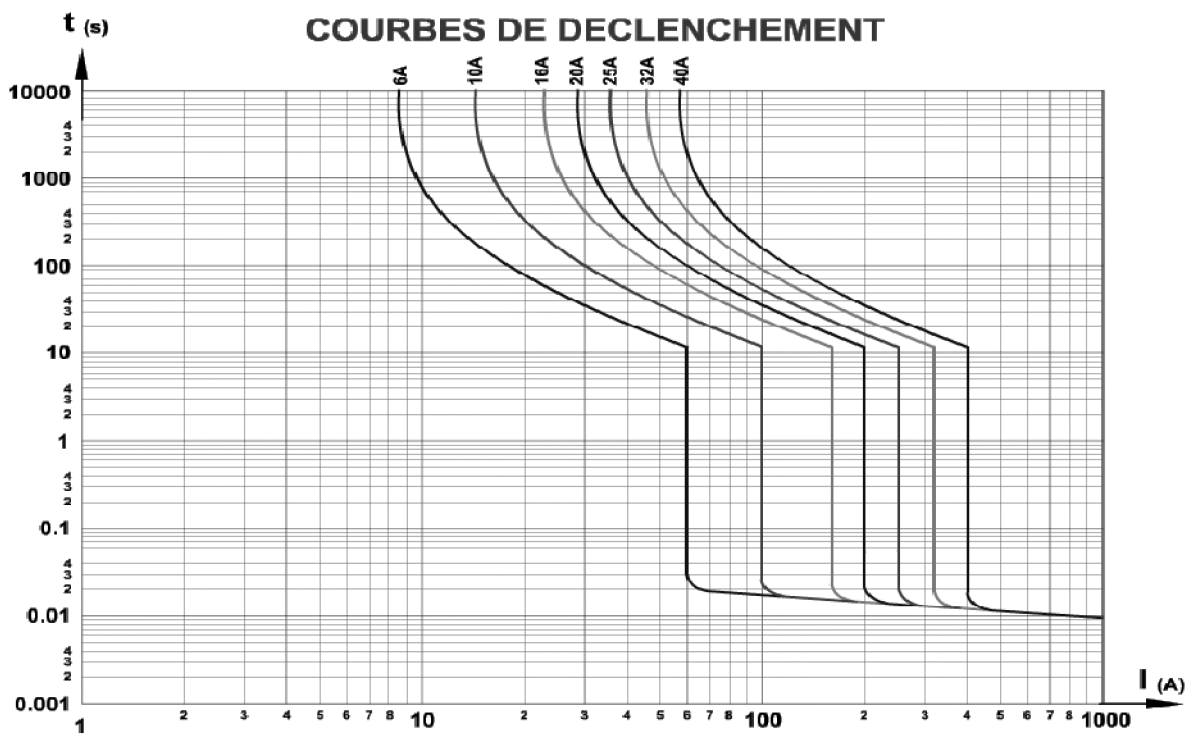


Figure IV-10 : Courbe de déclenchement

IV.6 Différentes types de disjoncteurs [7] [11]

IV.6.1. Disjoncteur divisionnaire (domestique)

La tendance est au remplacement des fusibles sur les tableaux de distribution d'abonnés par des disjoncteurs magnétothermiques qui assurent la protection des lignes et des appareils d'utilisation.

- **Ces caractéristiques**

- ✓ Réseau 220-380 V, pouvoir de coupure : 6000 A.
- ✓ calibres : 10-15-20-25-32 A.
- ✓

IV.6.2. Disjoncteur industriel BT

Pour la commande de la protection des circuits de moteurs et de distribution, il existe deux types de construction de disjoncteurs.

a) Les disjoncteurs sous boîtier moulé de 32 à 1250 A

La commande de ces disjoncteurs est en général manuelle, ils sont équipés de relais thermiques magnétiques ou magnétothermiques

b) Les disjoncteurs sur châssis métallique

La commande de ces disjoncteurs peut être manuelle ou électrique. Les déclencheurs peuvent être magnétiques, thermiques ou magnétothermiques.

- **Ces caractéristiques**

- ✓ Courant nominal thermique : 800 à 6300 A.
- ✓ Pouvoir de coupure sous 500 V : 70000 A.
- ✓ Pouvoir de fermeture : 175000 A.
- ✓ Déclencheurs magnétothermiques réglés de 8 à 9 In.

IV.6.3. Disjoncteur moyenne tension MT

Ils sont destinés à la protection des réseaux de distribution, et des postes de transformation, ils vont de 1.5 à 53 kV, ils sont réalisés soit avec coupure dans l'air, soit ils utilisent le gaz hexafluorure de soufre (SF6) pour l'isolement et la coupure.

IV.6.4. Disjoncteur haute tension HT

Après la construction des disjoncteurs à gros puits à faible volume d'huile, et le disjoncteur à air comprimé, la nouvelle génération des disjoncteurs HT utilisent SF₆. Selon la tension un pôle de disjoncteur est constitué d'une ou plusieurs chambres de coupure.

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini un disjoncteur et ses différents types, afin de mieux comprendre les phénomènes liés à ses dernières. Après un rappel sur la forme et le choix d'un disjoncteur nous avons déterminé que chaque choix se fait selon la nature du milieu utilisé. Dans ce qui suit nous traiterons principalement les techniques de coupure de l'arc utilisé dans les disjoncteurs.

V.1 Introduction

Pour couper les courants de charge ou de défaut, les constructeurs ont développé et perfectionné les appareils de coupure, disjoncteurs et contacteurs notamment, utilisant divers milieux de coupure : l'air, l'huile, le vide et le SF₆. Et cela fera l'objet de ce qui suit.

V.2 les techniques de coupure [1]

Le domaine de tension considéré est celui de la moyenne tension MT (1KV à 52KV), car c'est dans ce niveau de tension qu'il existe le plus grand nombre de techniques de coupure, le courant et de type alternatif.

V.2.1 Le milieu de coupure

Dans la partie précédente il a été expliqué que la coupure réussit lorsque :

- ✓ la puissance dissipée dans l'arc par effet joule reste inférieure à la puissance de refroidissement de l'appareil,
- ✓ la vitesse de désionisation du milieu est grande,
- ✓ et que l'espace inter-contacte a une tenue diélectrique suffisante.

Les choix du milieu de coupure est donc important dans la conception d'un appareil.

Ce milieu doit en effet :

- avoir une conductivité thermique importante en particulier dans la phase d'extinction pour évacuer l'énergie thermique de l'arc,
- retrouver ses propriétés diélectriques le plus vite possible afin d'éviter un réamorçage intempestif, (voir figure IV-1)
- à température élevée, être un bon conducteur électrique pour réduire la résistivité de l'arc donc de l'énergie à dissiper,
- à température faible, être un bon isolant électrique pour faciliter le rétablissement de la tension.

Cette qualité d'isolant se mesure par la tenue diélectrique entre les contacts qui dépend de la pression de gaz et de distance entre les électrodes. La tension de claquage en fonction de la distance inter-électrodes et de la pression est donnée par la courbe de paschen (figure IV- 2 et 3) qui permet de déterminer trois zones suivant la pression du gaz.

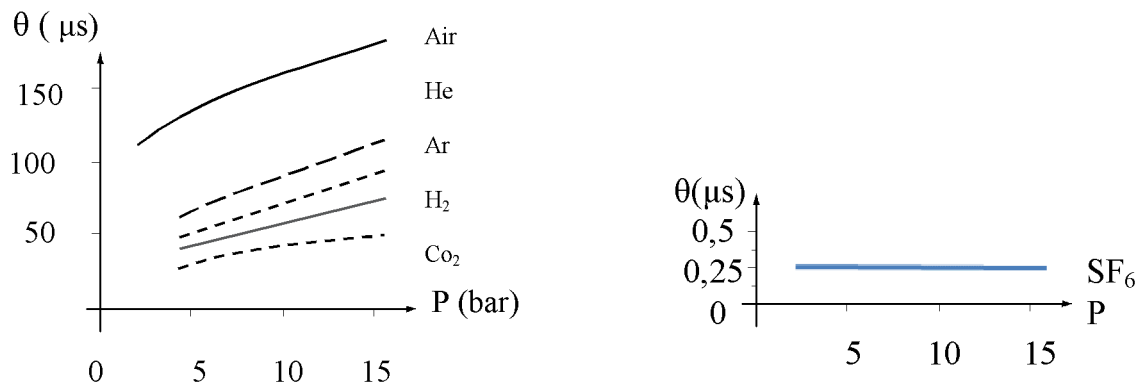


Figure V-1 : Constantes de temps de désionisation en fonction de la pression pour différents gaz.

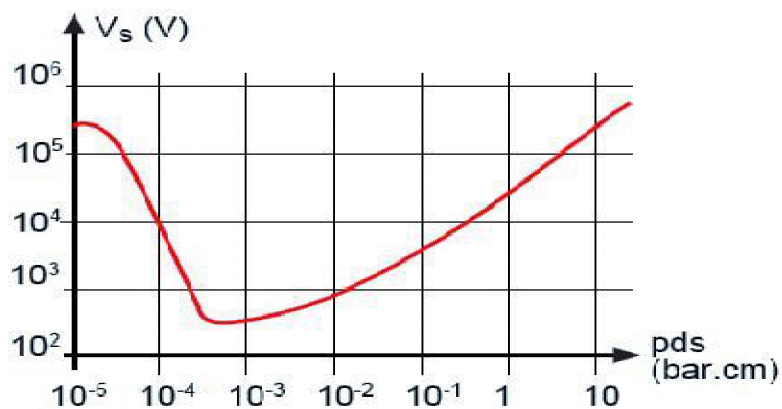


Figure V- 2: La courbe de paschen.

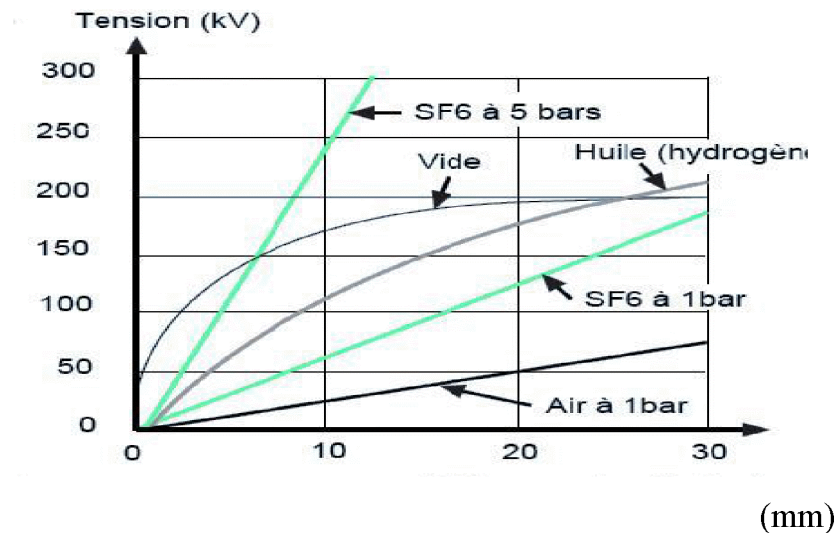


Figure V-3: Rigidité diélectrique en fonction de la distance entre les électrodes.

- La zone à haute pression dite de «régime atmosphérique» ou la tenue diélectrique est proportionnelle à la pression de gaz et à la distance intercontacts.
- La zone à faible pression où la tenue diélectrique atteint un vrai minimum entre 200V et 600V suivant le gaz utilisé (minimum de Paschen). Il est atteint pour une valeur déterminée du produit de la pression avec la distance intercontact aux alentours de 10^2 mbar.cm.
- La zone du vide où la tension de claquage ne dépend plus que de la distance entre les contacts et de leur état de surface. L'état conducteur est assuré par les électrons et les atomes arrachés sur les contacts dans le vide, et dans un gaz par l'ionisation rapide des molécules de gaz. Ces courbes mettent en évidence les performances possibles selon les milieux de coupure qui ont été successivement utilisés : l'air à pression atmosphérique ou à haute pression, l'hydrogène produit par décomposition de l'huile, le vide ou le SF₆. (Figure IV- 4) indique les plages de tension où chacune de ces techniques est utilisée.

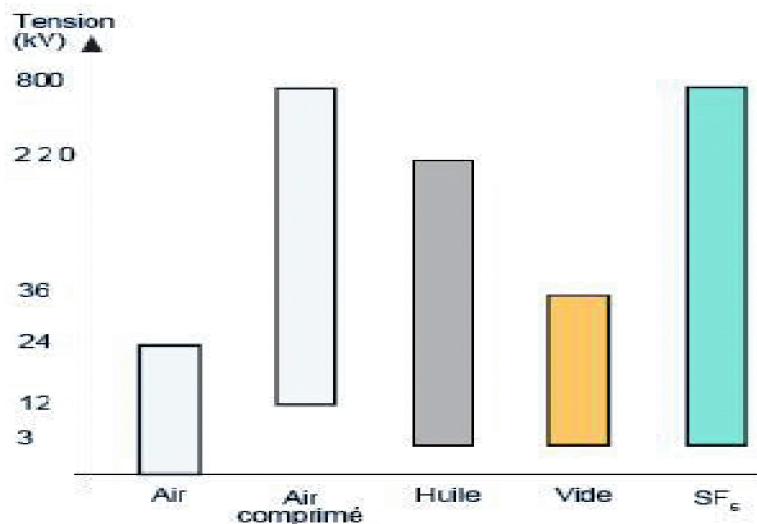


Figure V- 4 : Domaine d'utilisation des différents milieux de coupure.

V.2.2 La coupure dans l'air

Les appareils utilisant la coupure dans l'air à la pression atmosphérique ont été les premiers employés (disjoncteur magnétique).

L'air à pression atmosphérique, malgré sa rigidité diélectrique relativement faible et sa constante de temps de désionisation élevée ($10\mu s$), peut être utilisé pour la coupure jusqu'à des tensions voisines de 20KV. Pour cela il faut disposer d'une puissance de refroidissement de passage à zéro du courant pour éviter l'emballement thermique.

V.2.2.1 le mécanisme de coupure dans l'air :

Le principe retenu consiste à maintenir l'arc suffisamment court, tant que l'intensité est importante, pour limiter l'énergie dissipée puis à l'allonger seulement à l'approche de zéro de courant.

Ce principe a conduit à la création pour chaque pôle de l'appareil, une chambre de coupure. Il s'agit d'un volume situé au voisinage de l'espace intercontacts et divisé par des plaques réfractaire (plaques à énergie thermique), entre les quelle l'arc s'étire. (Voir Figure IV-5)

En pratique, lorsque le courant décroît, l'arc soumis aux efforts électromagnétiques pénètre entre ces plaques. Ils s'allonge et se refroidit au contact du matériau réfractaire jusqu'à ce que sa tension d'arc devienne supérieur à celle du réseau, ainsi, la résistance

d'arc augmente fortement. La puissance que peut lui apporter le réseau demeure alors inférieure à la puissance de refroidissement et de coupure devient effective.

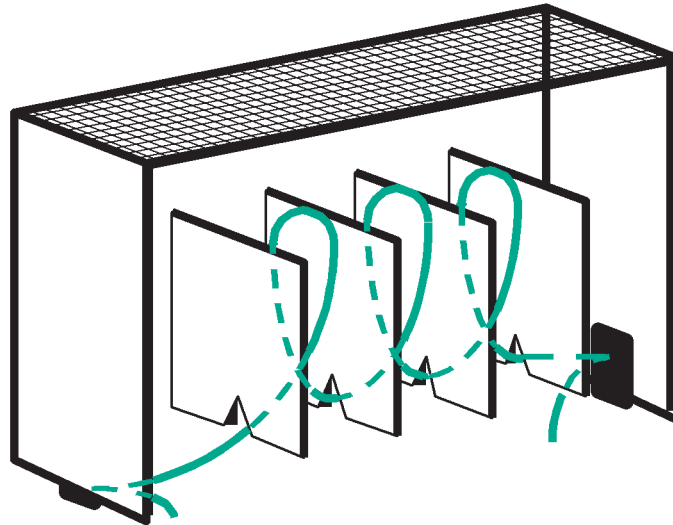


Figure IV- 5: Allongement d'un arc électrique entre la plaque réfractaire en céramique d'une chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure à l'air.

V.2.2.2 Principales caractéristiques d'un dispositif de coupure dans l'air

La dimension de la chambre de coupure est principalement définie par la puissance de court-circuit de réseau (en MVA).

Dans les appareils de type solénarc, la longueur très importante de l'arc (plusieurs mètres sous 24KV) est obtenue dans un volume raisonnable grâce au développement de l'arc sous la forme d'un solénoïde.

Compte tenu des vitesses requises pour l'ouverture des contacts, de quelque m/s, les énergies de commande sont de quelques centaines de joules.

V.2.2.3 Les domaines d'application de la coupure dans l'air

En BT, la technique de coupure dans l'air à pression atmosphérique est utilisée universellement pour sa simplicité, son endurance, son absence de surtension et son effet limiteur.

En MT d'autres techniques ont été préférées car la coupure dans l'air présente plusieurs inconvénients :

- ✓ encombrement de l'appareillage (dimensions plus grandes à cause de l'allongement de l'arc).
- ✓ pouvoir de coupure influencé par la présence des cloisons métallique de la cellule contenant l'appareil et par l'humidité de l'air
- ✓ cout et bruit.

Les disjoncteurs MT à coupure dans l'air ne sont quasiment plus fabriqués aujourd'hui.

V.2.3 La coupure dans l'huile [2]

L'huile qui servait déjà comme isolant a été utilisé dès le début du siècle comme milieu de coupure car cette technique permet la conception d'appareils relativement simples et économiques.

Les disjoncteurs à huile ont été utilisés principalement pour les tensions de 5 à 15 KV.

V.2.3.1 Le principe

Les contacts sont immergés dans une huile diélectrique. Lors de la séparation, l'arc provoque la décomposition de l'huile qui libère de l'hydrogène (70%), de l'éthylène (20%), du méthane (10%) et du carbone libre. Une énergie d'arc de 100KJ produit environ 10L de ces gaz. Ces gaz forment une bulle qui, par inertie de la masse d'huile, se trouve soumise pendant la coupure à une pression dynamique qui peut atteindre 50 à 100 bars. Quand le courant passe par zéro, le gaz se détend et souffle l'arc qui s'éteint. C'est l'hydrogène obtenu par décomposition de l'huile qui sert de milieu d'extinction. C'est un bon agent extincteur grâce à ses propriétés thermique et à sa constante de désionisation meilleurs que celle de l'air, en particulier à pression élevée.

V.2.3.2 différentes techniques de coupure dans l'huile

a) Disjoncteur à grand volume d'huile

Dans les premiers appareils utilisant l'huile, l'arc se développait librement entre les contacts créant des bulles de gaz non confinée. Afin d'éviter des amorçages entre phases ou entre bornes et masse, ces bulles ne doivent en aucun cas atteindre le cuve ou se rejoindre. (Figure V-6 a. b).

Les appareils dimensionnés en conséquence, atteignent des dimensions extrêmes grandes. Outre l'encombrement, ces appareils ont de nombreux inconvénients tel le manque de sécurité à cause de l'hydrogène produit qui s'accumule sous le couvercle, la maintenance élevée nécessaire pour veiller à la pureté de l'huile et au de ses propriétés diélectriques.

Pour relever ces inconvénients (manque de sécurité, appareils encombrants), les constructeurs ont crée les disjoncteurs à faible volume d'huile.

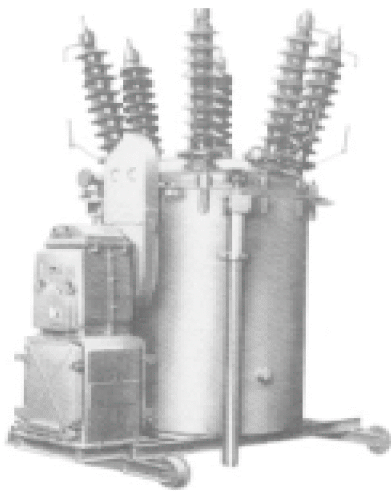


Figure V- 6 a : disjoncteur à grand
Volume d'huile.

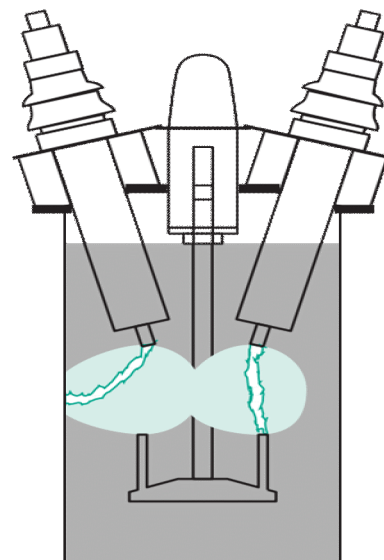


Figure V- 6 b: bulle de gaz à
l'origine d'un de défaut phase-
masse lors d'un coupure dans
disjoncteur à grand volume
d'huile.

a) Disjoncteur à faible volume d'huile

L'arc et la bulle sont confinés dans un pot de coupure isolant. La pression du gaz augmente lors du passage de l'arc dans une succession de chambre puis, quand le courant passe par zéro se détend à travers une buse sur la zone d'arc celui-ci est alors énergiquement balayé, ce qui assure la restauration des propriétés diélectriques intercontacts. (Figure V-7)



Figure V- 7 : disjoncteur à faible volume d'huile.

Les Caractéristiques principales des disjoncteurs à faible volume d'huile :

La valeur du courant de court-circuit ou du courant assigné impose un diamètre minimal du contact mobile. La longueur du pot de coupure et la course de l'équipage mobile sont quasiment proportionnelle à la tension appliquée.

Pour éviter les pressions excessives, le temps d'arc minimal pour la coupure d'un grand courant doit être inférieur à 10ms et il doit rester inférieur à 40ms pour les courants critiques.

L'enveloppe isolante du pot de coupure doit, en outre, être conçue pour supporter les pressions très élevées engendrées par des défauts consécutifs, car la diminution de pression demande environ une seconde.

Cependant malgré la réduction du volume d'huile, cette technique présente encore certains inconvénients qui sont comme suit :

- la décomposition de l'huile n'est pas réversible.
- la dégradation de l'huile et l'usure des contacts détériorent la tenue diélectrique entraînant des coûts supplémentaires de maintenance.
- en cas de refermeture rapide le pôle reste à pression élevée et son PdC diminue.
- le risque d'explosion et d'inflammation n'est pas complètement écarté.

V.2.3.3 Les domaines d'applications de la coupure dans l'huile

Cette technique de coupure a été très employée dans tous les domaines, du transport et de la distribution de l'énergie électrique.

Progressivement elle est supplantée par les techniques de coupure dans le vide et dans le SF₆, technique qui ne présente pas les inconvénients cités précédemment.

V.2.4 la coupure dans le vide

A partir des années 70, la technique du vide se répand de plus en plus du fait des avantages qu'elle apporte : encombrement réduit, meilleure sécurité et plus grande endurance.

V.2.4.1 Propriétés diélectriques du vide

En principe le vide est un milieu diélectrique idéal : il n'y a pas de matière donc pas de conduction électrique. Cependant, le vide n'est jamais parfait et toute façon a une limite de tenue diélectrique. Malgré tout, le vide réel a des performances spectaculaires : à la pression de 10⁻⁵ bar, la rigidité diélectrique en champ homogène peut atteindre une tension crête de 200KV pour une distance inter-électrodes de 12mm.

V.2.4.2 Le mécanisme de coupure dans le vide

La coupure dans le vide est assez particulière à cause des caractéristiques très spécifiques de l'arc dans le vide.

a) L'arc électrique dans le vide

La colonne d'arc est composée de vapeurs métalliques et d'électrons provenant des électrodes à la différence des autres techniques de coupure évoquées précédemment pour les quelles cette colonne est principalement composée du gaz intercontacts ionisé par collisions.

L'arc peut avoir deux aspects, concentré ou diffus, selon l'intensité du courant qui le traverse.

Pour des valeurs élevées du courant ($\geq 10000\text{A}$) l'arc est unique et concentré comme dans les fluides traditionnels (Figure V-8 a). Les taches cathodiques et anodiques de plusieurs mm^2 sont portées à des températures très élevées. Une fine couche du matériau de contact se vaporise et l'arc se développe dans une atmosphère de vapeurs métalliques qui occupe tout l'espace. Lorsque le courant décroît, ces vapeurs se condensent sur les électrodes elles-mêmes ou sur des écrans métalliques disposés à cet effet. Dans ce régime, la tension d'arc peut atteindre 200V.

Pour des valeurs de courant inférieures à quelques milliers d'ampères, cet arc se trouve sous forme diffus. Il est composée de plusieurs arcs séparés les uns des autres, de forme conique dont le sommet est à la cathode (Figure V-8 b). Leurs racines cathodiques appelées spots ont Y est très élevées (10^5 à 10^7A/cm^2). La très haute température locale (3000K) entraîne une émission combinée thermoélectronique et un effet de champ très intense pour une évaporation de matériau de contact modérée. Le courant est alors essentiellement dû au flux d'électrons.

Les ions métalliques positifs produits à la cathode ont une énergie cinétique telle (entre 30 à 50eV) qu'ils peuvent occuper tout l'espace jusqu'à l'anode. Ainsi ils neutralisent les charges d'espace intercontacts, d'où un faible gradient de potentielle et une faible tension d'arc (80V au maximum).

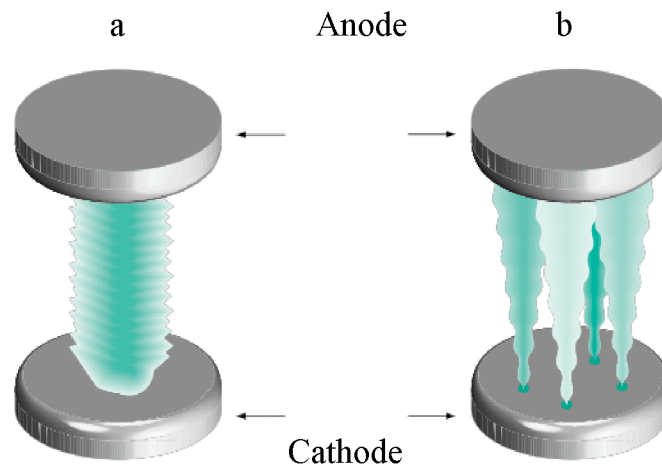


Figure V- 8: arc concentré[a] et arc diffus [b].

b) passage au zéro de courant

A l'approche du zéro, le nombre de spots diminue jusqu'au dernier qui disparaît quand l'énergie apportée par l'arc n'est plus suffisante pour maintenir une température de pied d'arc assez élevée. Il faut noter qu'à l'inversion de la tension, l'anode devient cathode mais froide, elle ne peut pas émettre d'électrons ce qui correspond à une constante de temps désionisation excessivement petite. Pour les courant élevée, il peut reste encore un plasma d'arc au zéro de courant et la coupure devient incertaine.

V.2.4.3 Les différentes technologies de coupure dans le vide

Tous les constructeurs on été confrontes aux mêmes exigences tel que:

- réduire le phénomène d'arrachement de courant pour limiter les surtensions,
- éviter l'érosion précoce des contacts pour obtenir une endurance élevée,
- retarder l'apparition du régime d'arc concentre pour augmenter le PdC,
- limiter la production de vapeurs métalliques pour éviter les reclaquages,
- conserver le vide, indispensable pour garder les performances de coupure, pendant la durée de vie de l'appareil.

Leurs développement ont porte principalement sur deux axes : la composition des matériaux de contact et le contrôle de l'arc par un champ magnétique.

Deux type de champ magnétique sont utilises : radial ou axial.

- **La technologie du champ magnétique radial**

Le champ est créé par le courant qui circule dans les électrodes conçues à cet effet. En cas d'arc concentrique les racines d'arc se déplacent en un mouvement circulaire, la chaleur se répartit uniformément ce qui limite l'érosion et la densité de vapeurs métalliques. Lorsque l'arc est diffus, les spots se déplacent librement sur la surface de la cathode comme si c'était un disque solide. Les formes d'électrodes assez complexes qu'entraîne cette technologie rendent la tenue diélectrique entre électrodes plus difficile.

- **La technologie du champ magnétique axial**

L'application d'un champ magnétique axial impose aux électrons et aux ions une trajectoire hélicoïdale le long des lignes de champ magnétique qui stabilise l'arc diffus et empêche l'apparition du régime concentrique. L'apparition de la tache anodique est ainsi évitée et l'érosion reste limitée, ce qui permet d'atteindre des pouvoirs de coupure élevée. Le tableau V-1 établit une comparaison entre ces deux technologies.

	Champ Radial	Champ axial
Resistance de contact/échauffement	+	-
Tension des contacts	-	+
Erosion des contacts	-	+
PdC/diamètre des contacts	=	=

Tableau V. 1: tableau comparatif des forces(+) et faiblesses(-) de chaque technologie.

V.2.4.4 Les domaines d'applications de la coupure dans le vide

Cette technique de coupure est la plus employée, des disjoncteurs d'usage général sont maintenant disponibles pour les différentes applications avec tous les pouvoirs de coupure habituels (jusqu'à 63KA). Ils sont utilisés pour la protection et la commande :

- ✓ des câbles et des lignes aériennes,
- ✓ des transformateurs,
- ✓ des condensateurs en batterie unique,
- ✓ des moteurs et inductances shunt.

V.2.5 La coupure dans le SF₆

L'hexafluorure de soufre -SF₆- est un gaz apprécié pour ses nombreuses qualités chimiques et diélectriques. La technique de coupure dans ce gaz a été développée, dans les années 70, comme celle du vide.

V.2.5.1 Propriétés du SF₆

a) Propriétés chimiques

C'est un gaz non polluant, incolore, inodore, non inflammable et non toxique à l'état pur. Il est insoluble dans l'eau.

Il est chimiquement inerte, sa molécule à toutes ses liaisons chimiques saturées et une énergie de dissociation élevée (+1096KJ/mol) ainsi qu'une grande capacité d'évacuation de la chaleur produite par l'arc (enthalpie élevée). Pendant la période d'arc, sous l'effet de la température qui peut atteindre 15000 à 20000K, le SF₆ se décompose. Cette décomposition est quasi réversible quand le courant diminue la température diminue, les ions et les électrons se recombinaient alors pour reconstituer la molécule de SF₆. Une faible quantité de sous-produits résulte de la dégradation du SF₆ en présence d'impuretés telles que le dioxyde de soufre ou le tétra fluorure de carbone. Ces sous-produits restent confinés dans les ampoules et sont très facilement absorbés par des éléments actifs comme le silicate d'aluminium souvent placés dans l'enceinte de coupure.

Le rapport 61634 de la CEI sur l'utilisation du SF₆ dans l'appareillage de coupure donne des valeurs typiques de sous-produits trouvés après plusieurs années de service.

b) Propriétés physiques

Les propriétés physique sont sous deux forme tel que : les propriétés thermique et diélectrique

●Propriété thermique

La conductivité thermique du SF₆ est équivalente à celle de l'air mais l'étude de la courbe de conductivité thermique du SF₆ à des hautes températures révèle un pic à la température de dissociation du SF₆ (Voir figure V-9).

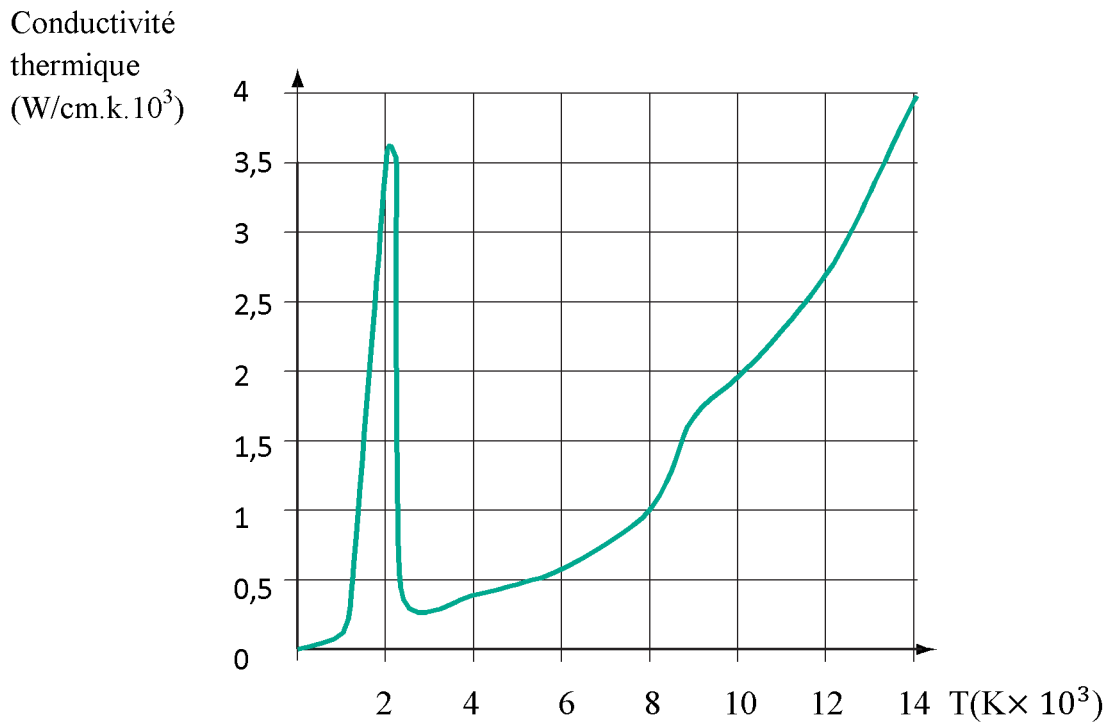


Figure V-9 : courbe de conductivité thermique de SF₆ en fonction de la température.

- **Propriété diélectrique**

Le SF₆ a une rigidité diélectrique très élevée grâce aux propriétés très électronégatives du fluor (voir figure V- 3) :

- ✓ la durée de vie de ses électrons libres reste très faible et ils forment avec les molécules de SF₆ des ions lourds à faible mobilité. la probabilité de rupture diélectrique par avalanche est ainsi retardée.
- ✓ Il confère à son milieu une constante de temps de désionisation extrêmement faible, de l'ordre de 0.25μs (voir figure IV- 1).

V.2.5.2 Le mécanisme de coupure dans le SF₆

a) L'arc électrique dans le SF₆

Son étude thermique permet de le décrire comme étant formé d'un plasma de SF₆ dissocié, de forme cylindrique, constitué d'un noyau à une température très élevée fonction du courant coupé, entouré d'une gaine de gaz plus froide. Le noyau et la gaine sont séparés par un palier de température lié à la température de dissociation de la molécule. Proche de 2000°C, ce palier reste inchangé lorsque l'intensité du courant varie. (Voir figure IV-10)

Pendant cette période d'arc la totalité du courant est transportée par le noyau car la température du palier est inférieure à la température minimale d'ionisation et la gaine extérieure reste isolante. Les grandeurs caractéristiques de l'arc dépendent du type de coupure utilisé (auto-compression, arc tournant, auto-expansion).

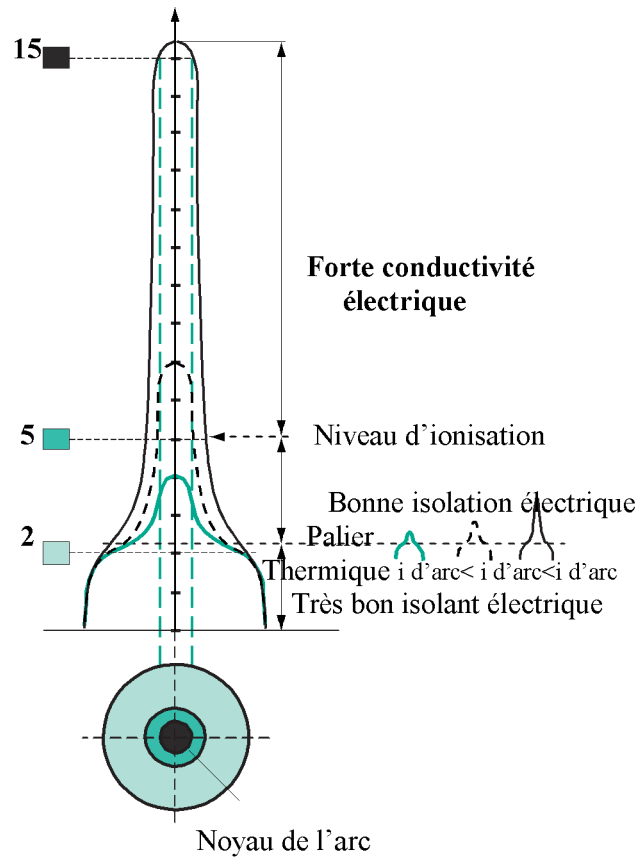
Température ($\times 10^3 \text{K}$)

Figure IV- 10 : courbe de répartition de la température d'un arc contenu dans un tube cylindrique rempli de SF_6 .

b) Passage au zéro de courant

Avec la décroissance du courant, la température du noyau diminue, de ce fait la conductivité électrique commence aussi à diminuer.

A l'approche du zéro de courant, les échanges thermiques entre la gaine et le noyau deviennent très importants. Celle-ci disparaît entraînant la disparition de la conductivité avec une constante de temps très faibles ($0.25 \mu\text{s}$) mais pas suffisant pour couper les courants de haute fréquence (pas de réallumage).

V.2.5.3 Les différentes technologies de coupure dans le SF₆ et leurs domaines d'application [5]

Dans les appareils au SF₆, les contacts sont situés à l'intérieur d'une enceinte fermée remplie de gaz dont la pression varie selon la tension et les paramètres de conception. Ces enveloppes sont généralement celées à vie car le taux de fuite est maîtrisé à un niveau très bas. Des systèmes de pressostats ou densistats peuvent être installés, ils permettent un contrôle permanent de la pression du gaz dans l'enveloppe.

Il existe plusieurs technologies d'appareil au SF₆ qui diffèrent par le mode de refroidissement de l'arc et dont les caractéristiques et les champs d'application varient.

a) La coupure par auto-compression

Dans ce type de disjoncteur, l'arc est soufflé par détente d'un volume de SF₆ comprimé par pistonage. À l'ouverture de l'appareil, un cylindre solidaire du contact mobile se déplace et comprime un volume de SF₆. Une buse de soufflage canalise le gaz dans l'axe de l'arc qui est ensuite expulsé dans des contacts creux.

Aux forts courants, l'arc provoque un effet bouchon qui contribue à l'accumulation de gaz comprimé. Quand le courant approche de zéro, l'arc est d'abord refroidi puis éteint grâce à l'injection de nouvelles molécules de SF₆. La valeur moyenne de la tension d'arc est comprimée entre 300 et 500V. Cette technologie permet de couper sans difficulté tout courant jusqu'au PdC, sans courant critique car l'énergie nécessaire pour souffler l'arc est produite par la commande mécanique donc indépendante du courant à couper.

• Grandeurs caractéristiques

Les pressions relatives de SF₆ généralement utilisées varient de 0.5bar (16KV, 24KV) à 5bar (52KV), ce qui autorise la réalisation d'enveloppes scellées sans fuite avec toutes les garanties de sécurité.

Les facteurs influençant les dimensions de la chambre de coupure sont les suivants :

- ✓ La tenue à la tension d'essais entrée/sortie qui conditionne la distance d'isolement entre contacts ouverts. Elle peut être constante et de l'ordre de 45mm compte tenu des pressions de SF₆ utilisées. (Voir figure V.11 a-b)

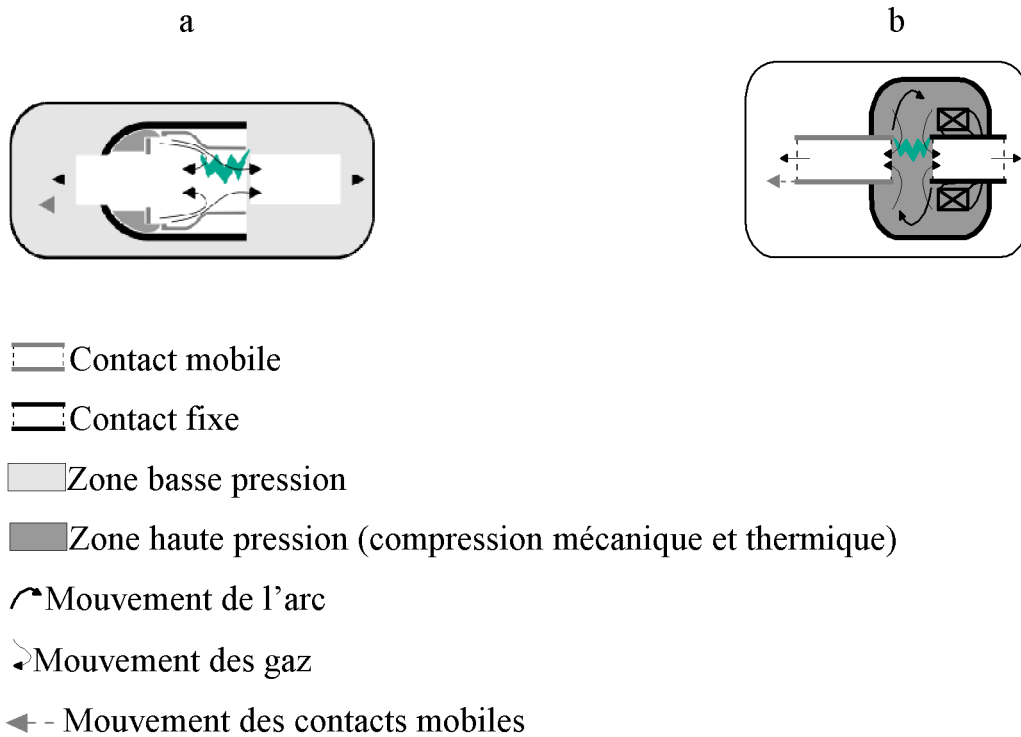


Figure V-11 : principe de la coupure par auto-compression[a], et par l'arc tournant[b].

- ✓ Le courant de court-circuit à couper dimensionne le diamètre de la buse et des contacts.
- ✓ La puissance de court-circuit à couper impose les dimensions du piston de soufflage (en 24KV le volume de gaz soufflé est de l'ordre d'un litre pour un PdC de 24KA).

L'énergie d'ouverture de 200J (16KA) à 500J (50KA), reste relativement élevée malgré la compacité des appareils à cause de l'énergie nécessaire à la compression du gaz.

• Domaines d'application de la coupure par auto-compression

Le principe d'auto-compression est le plus ancien. Il a été utilisé pour tous les types de disjoncteurs à usage général. Il ne présente pas de surtension trop élevée car le phénomène d'arrachement est faible et il n'y a pas de risque de réallumage successifs. Les disjoncteurs à auto-compression sont bien adaptés à la manœuvre des batteries de condensateurs.

Cette technologie est encore largement utilisée aujourd'hui, surtout pour les appareils à forte intensité et les tensions supérieures à 24KV.

b) La coupure par arc tournant

Avec cette technologie l'arc se refroidit par son propre déplacement relatif dans le SF₆. un mouvement de rotation de l'arc à très grande vitesse (qui peut dépasser celle du son à la pression atmosphérique - Pat-) est engendré par le champ magnétique créé par une bobine parcourue par le courant de défaut.

À l'ouverture des contacts principaux, le courant est commuté sur la bobine et le champ magnétique axial apparaît. La force de Laplace résultante accélère l'arc ont une forme de pistes circulaires qui peuvent être soit face à face comme représentées sur la figure V-11b (arc axial et champ radial). L'arc est ainsi refroidi d'une manière homogène dans le SF₆.

La puissance de refroidissement de l'appareil dépend donc directement de la valeur du courant de court-circuit ce qui confère à ces appareils une coupure en douceur ne nécessitant qu'une faible énergie de manœuvre : l'énergie nécessaire à la coupure est entièrement fournie par l'arc et les faibles courants sont coupés sans arrachement ni surtension.

Grâce au mouvement rapide des racines d'arc, les points chauds dégageant des vapeurs métalliques sont élevés et l'érosion des contacts est minime en particulier dans le cas de la géométrie axiale.

Il faut noter qu'à l'approche du zéro de courant, le champ magnétique diminue. Il est important qu'il garde une valeur non nulle de manière à ce que l'arc soit maintenu en mouvement dans du SF₆ froid au moment de l'apparition de la TTR, et qu'ainsi soit

évitée l'existence de courants critiques. Ceci est obtenu en insérant des anneaux de court-circuit qui forcent le champ magnétique à être en léger déphasage avec le courant.

●Grandeurs caractéristiques

En MT, l'arc tournant dans le SF₆ à une tension de 50 à 100V pour une longueur de 15 à 25mm. Du fait de la faible énergie de coupure, les appareils sont très compacts, même avec une pression de remplissage relativement faible (de l'ordre de 2.5bars) et l'énergie de commande pour l'ouverture est inférieure à 100J.

●Domaines d'application

La technologie de coupure par arc tournant est bien adaptée à la commande des machines sensibles aux surtensions telles que moteurs MT et alternateur. Son excellente endurance due à la faible usure des contacts et aux énergies de commande faibles le rend très intéressante pour les applications à grand nombre de manœuvres,(fonction contacteur).

La technique de l'arc tournant utilisée seule ne permet d'obtenir qu'un pouvoir de coupure limitée (25/30KV en 17.5KV) et ne s'applique qu'à des tensions inférieures à 17.5KV.

c) La coupure par auto-expansion

Elle utilise l'énergie thermique dissipée par l'arc pour augmenter la pression d'un petit volume de SF₆, lequel s'échappe par un orifice traverse par l'arc (Figure.12a). Tant que le courant dans l'arc est important, il a un effet bouchon qui empêche l'écoulement du gaz à travers l'orifice. Le gaz froid bloqué dans le volume a sa température qui croit, à cause de la dissipation thermique de l'arc (principalement par rayonnement), donc sa pression, le bouchon disparaît, le SF₆ se d'étend et souffle l'arc.

L'effet du soufflage dépend de la valeur de courant, d'où des énergies de commande faibles et des coupures en douceur, mais avec un risque d'existence de courants critiques. Ceux-ci se trouvent généralement aux environs de 10% du PdC.

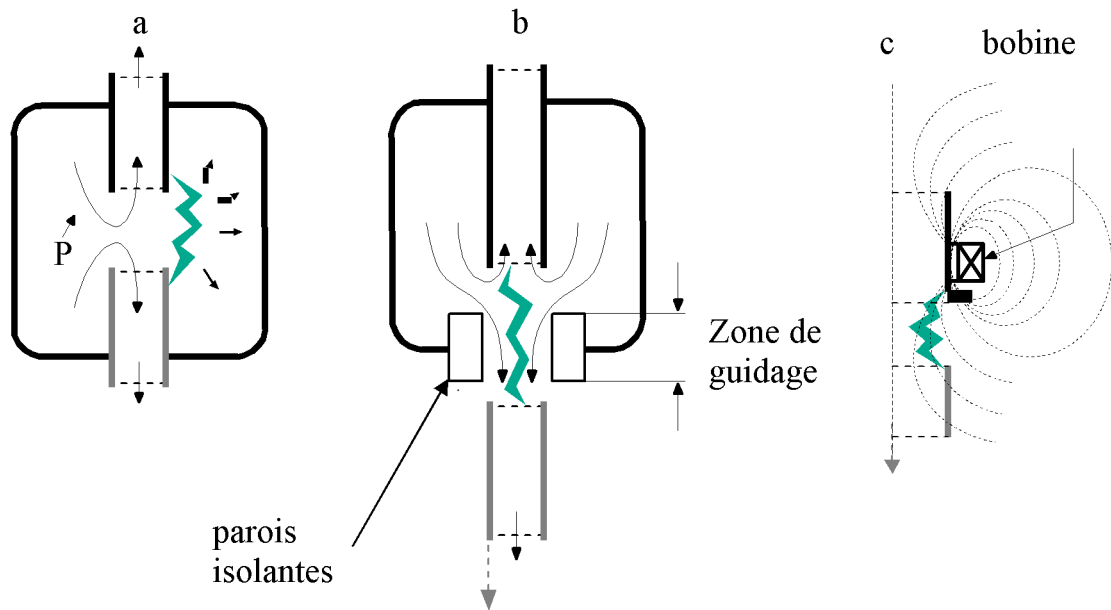
Deux méthodes de guidage de l'arc, le guidage mécanique et le guidage magnétique, ont été développées qui permettent de stabiliser l'arc dans la zone de soufflage et en plus de supprimer les courants critique.

a. Le guidage mécanique (type auto-compression) (Figure V- 12b)

L'arc est isolantes qui confinent les flux gazeux de manière similaire aux buses utilisées en auto-compression. Cette technique, développe par tous les grands constructeurs, est sûre et simple mais elle augment l'énergie nécessaire à la commande. En effet, la présence de ces dispositifs dans la zone d'arc diminuent performances diélectrique du SF₆ pendant la période de rétablissement, ce qui conduit à augmenter les distances inter-électrodes et les vitesses de déplacement des contacts, voire la pression du SF₆.

b. Le guidage magnétique (type arc tournant) (Figure V-12c)

Un champ magnétique judicieusement dimensionne permet de centre l'arc dans la zone d'expansion du SF₆ tout en lui imprimant un mouvement de rotation rapide à l'instar de la technologie à arc tournant. Cette autre technologie qui nécessite une grande maîtrise de conception a pour avantage d'éviter la présence d'autres matériaux que celle du SF₆ dans la zone d'arc. Le rendement thermodynamique est optimal et le SF₆ garde toutes ses qualités diélectriques. Ainsi les distances d'isolement pouvant être réduites au maximum, l'énergie de commande requise est faible.



- ➔ Mouvements du gaz en expansion

↪ Mouvements du contact mobile

▬ Contact mobile

▬ Contact fixe

Figure V- 12:arc non guidé[a], et les deux méthodes de guidage de l'arc, mécanique[b] et magnétique[c].

•Grandeurs caractéristiques

Pour les petits courants, le soufflage est alors quasi inexistant et la tension d'arc ne dépasse généralement pas 200V. L'énergie de commande sous 24KV est inférieure à 100J toutes ces caractéristiques font que la coupure par auto-expansion est la technologie la plus performante à ce jour. Ses capacitifs de coupure peuvent être très élevée avec des pressions et des énergies de commande faibles, donc avec une très grande fiabilité.

• Domaines d'applications

Cette technologie, développée pour la coupure des courants de défaut, est bien adaptée à la coupure des courants capacitifs car elle accepte les surintensités et les surtensions. Elle convient aussi à la coupure des courants faiblement inductifs.

Sans moyen auxiliaire, les appareils à expansion thermique ont un PdC et une tension d'emploi limites. L'auto-expansion est donc souvent associée à l'auto-compression à arc tournant ou au pistonnage. Elle est alors utilisée dans les appareils destinés à la MT et même à la HT et ce pour toutes les applications.

Les performances atteintes grâce à l'association de l'expansion thermique et de l'arc tournant sont telles qu'il est envisagé d'utiliser ces techniques pour des disjoncteurs destinés à des applications très contraignantes, par exemple la protection des alternateurs des centrales (forte asymétrie et TTR élevée), ou qui requièrent une grande endurance.

V.3. Comparaison des différentes techniques

Aujourd'hui, dans le domaine de la BT, la coupure magnétique dans l'air est, sauf quelques rares cas particulier, la seule employée.

Pour les MT, où toutes les technique peuvent être utilisées, celle de la coupure dans le SF₆ et dans le vide ont remplacé celles dans l'air pour des raisons de coût et d'encombrement (tableau V-2) et celles dans l'huile pour des raisons de fiabilité, de sécurité et de réduction de maintenance. (Tableau V-3)

Les techniques de coupure dans le vide ou dans le SF₆ ont des performances comparables et leurs qualités respectives font que l'une ou l'autre est plus adaptée à certaine application.

Selon les pays, l'un ou l'autre de ces techniques est majoritairement employée essentiellement pour des raisons historiques ou de choix de constructeurs

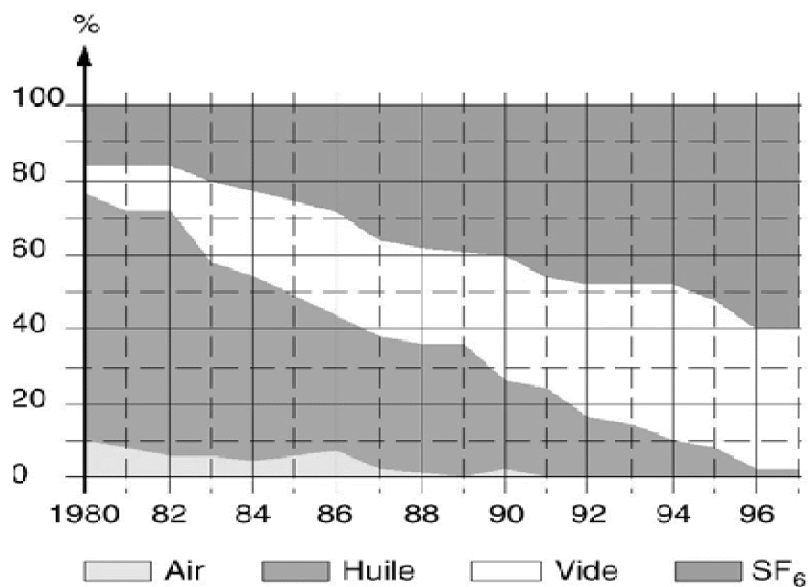


Figure V- 13 : évolution de la marche de disjoncteur en MT, en Europe.

	Huile	Air	SF ₆ /Vide
Sécurité	Risque d'explosion et d'incendie si l'augmentation de pression (manœuvres multiples) produit une défaillance.	Manifestations extérieures importantes (émissions de gaz chauds et ionisés lors des coupures).	Pas de risque d'explosion, ni de manifestations extérieures.
Encombrement	Volume de l'appareil relativement important.	Installation nécessitant de grandes distances. (coupure non confinée).	Faible.

Entretien	Remplacement périodique de l'huile (décomposition irréversible de l'huile à chaque coupure).	Remplacement des contacts d'arc si possible. Entretien périodique de la commande.	Nul sur les éléments de coupure. Lubrification minimale des mécanismes de commande.
Sensibilité à l'environnement	Le milieu de coupure peut être altéré par l'environnement (humidité, poussières...).		Non sensibles : ampoule de type scellée à vie.
Coupure en cycle rapide	Le temps de diminution de pression, long, nécessite de déclasser le PdC s'il y a risque de coupures successives.	L'évacuation de l'air chaud très lente nécessite un déclassement du PdC.	Le SF ₆ et le vide recouvre très rapidement leurs propriétés diélectriques : pas de déclassement.
Endurance	Médiocre.	Moyenne.	Excellente.

Tableau IV. 2 : Performances comparées des différentes techniques de coupure. [1]

Le tableau IV. 3 résume les qualités respectives de chacune de ces deux techniques.

Les disjoncteurs au SF₆ et au vide sont des disjoncteurs à usage général et peuvent être adaptés à toutes les applications.

Les progrès technologiques dans les moyens de production des ampoules à vide ont permis d'obtenir des appareils très fiables et compétitifs au même titre que les appareils au SF₆.

La technique du vide est plus facile à mettre en œuvre aux tensions basses (tension inférieure 7,2-12KV). En revanche, celle au SF₆ permet d'atteindre plus facilement des performances de coupure élevées (tension ou courant de court-circuit).

Dans les fonctions de commande (contacteur) (tension et courant modérés grande endurance requise), la technique de vide est très répandue malgré les précautions à prendre concernant les surtensions. Par contre, elle est quasi inexistante dans les fonctions d'ouverture (interrupteur) pour des raisons économiques ; en particulier, l'excellente tenue diélectrique du SF₆ après coupure permet d'intégrer dans un seul appareil les fonctions d'ouverture et de sectionnement, ce qui est proscrit avec le vide.

La plupart des grands constructeurs utilisent aujourd'hui, dans leurs appareillages, les deux techniques de coupure selon leurs spécificités.

		SF ₆	Vide
Application	Moteurs, fours, lignes	Toutes. plutôt adaptée aux performances de coupure élevées (I et U).	Toutes. Plutôt adaptée aux tensions faibles et aux TTR très rapides.
	Disjoncteurs, contacteurs.	Toutes.	Les fonctions sectionnement sont proscrites.
Caractéristique	Endurance	Satisfaisantes pour toutes les applications courantes.	Peuvent être très élevées pour certaines applications courantes.
	surtension	Pas de risque sur les faibles courants capacitifs très faibles probabilités de réamorçage sur les courants capacitifs.	Parasurtenseur recommande pour la manœuvre des moteurs et des gradins de condensateurs.

	Isolation entrée- sortie	Très reproductibles permettant des fonctions de sectionnement.	
	Dimension		Très compact dans les tensions basses.
Sûreté de fonctionnement	Pertes d'étanchéité	Jusqu'à 80% performances maintenances à P_{atm} . Surveillance possible continu.	
	Maintenance	Réduite sur dispositif de commande. Contrôle permanent possible de la pression de gaz.	Réduite sur le dispositif de commande. Contrôle occasionnel possible du vide.
	Nombre de défaillances	Très bas (<4/10000), principalement dues aux auxiliaires.	Très bas si le procédé de fabrication des ampoules est bien maîtrisé.

Tableau IV.4: qualité comparées des techniques de coupure dans le SF₆ et la vide. [1]

V.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a mis en œuvre toutes les techniques de coupure de l'arc électrique, alors nous avons constaté que la coupure dans le SF₆ et dans le vide s'impose par leurs performances car la plupart des grands constructeurs aujourd'hui utilisent dans leurs appareillages ces deux thermique selon leurs spécificités.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons fait une étude théorique des techniques de coupure dans les disjoncteurs et cela pour mieux cerner le phénomène de l'arc électrique, mais aussi pour la protection du circuit électrique.

Après avoir présenté l'influence de l'arc électrique dans un circuit électrique, nous nous sommes intéressés à ses conditions de formation et les propriétés de son dernier pour arriver à diminuer ses inconvénients et dangers.

Aujourd'hui encore, l'arc électrique reste un moyen très adapté à la coupure avec limitation des courants en basse tension. De plus les disjoncteurs basse tension bénéficient d'importantes améliorations liées aux évolutions des connaissances, des matériaux et à l'emploi de l'électronique. Aussi, pendant de nombreuses décennies encore, la protection des circuits électriques nécessitera des disjoncteurs avec la maîtrise de l'arc.

Nous avons présenté dans le cinquième chapitre les techniques de coupure de l'arc dans les disjoncteurs et cela en moyenne tension car c'est dans ce milieu que l'arc électrique est le plus répandu et nous avons conclu que la coupure dans le SF6 et la coupure dans le vide s'imposent par leurs performances.

Le choix entre le vide et le SF6 dépend surtout du domaine d'application et des choix technologiques des constructeurs, mais aussi des pays, d'où des disparités dans la répartition géographique des appareils utilisant le SF6 ou le vide.

Actuellement aucune autre technique capable de supplanter la coupure dans le vide ou le SF6 n'est envisageable ; Car ces deux techniques par rapport aux anciennes ont de nombreux avantages :

- La sécurité : pas de risque d'explosion, d'incendie et de manifestations extérieures lors de la coupure.
- La compacité : le vide et le SF6 sont de très bons isolants, les appareils sont donc moins volumineux.
- La fiabilité : peu de pièces en mouvement avec une énergie de commande faible, d'où une maintenance réduite, une disponibilité importante, et une durée de vie très longue.

Conclusion générale

Grâce aux moyens de calcul actuels qui permettent la modélisation et la simulation, l'appareillage s'améliore sans cesse. Cependant, les gains les plus importants en termes de sûreté de fonctionnement des installations (fiabilité, sécurité, maintenabilité) sont liés à l'emploi, qui se généralise, d'équipements sous enveloppe préfabriquée, testés en usine. De tels équipements rassemblent les appareils de coupure associés aux systèmes intégrés de protection et de commande.

Nous nous sommes confrontés, dans ce travail, à un problème majeur affectant la qualité du contenu, à savoir le manque d'une étude pratique au sein d'une entreprise et cela par manque de moyen et d'aide majeur ; ni au moins nous espérons que ce modeste travail servira de support aux promotions à venir.

Résumé

L'utilisation de l'énergie électrique nécessite d'établir ou d'interrompre les circuits et cela selon le besoin, lors d'ouverture d'un circuit électrique les courants tendent à se maintenir grâce à l'apparition d'un arc électrique.

L'arc correspond à une décharge lumineuse qui accompagne le passage de l'électricité entre deux conducteurs présentant une différence de potentiel convenable, ce phénomène fut découvert en 1813 par le physicien et chimiste anglais DAVY.

Un disjoncteur est un organe électromagnétique capable d'établir, et couper des courants dans des conditions normales et anormales. Aujourd'hui encore, l'arc électrique reste un moyen très adapté à la coupure avec limitation des courants en basse tension. De plus les disjoncteurs basse tension bénéficient d'importantes améliorations liées aux évolutions des connaissances, des matériaux et à l'emploi de l'électronique. Aussi, pendant de nombreuses décennies encore, la protection des circuits électriques nécessitera des disjoncteurs avec la maîtrise de l'arc.

Les techniques de coupure de l'arc dans les disjoncteurs et cela en moyenne tension car c'est dans ce milieu que l'arc électrique est le plus répandu et nous avons conclu que la coupure dans le SF6 et la coupure dans le vide s'imposent par leurs performances. Le choix entre le vide et le SF6 dépend surtout du domaine d'application et des choix technologiques des constructeurs, mais aussi des pays, d'où des disparités dans la répartition géographique des appareils utilisant le SF6 ou le vide. Actuellement aucune autre technique capable de supplanter la coupure dans le vide ou le SF6 n'est envisageable ; Car ces deux techniques par rapport aux anciennes ont de nombreux avantages.

Grâce aux moyens de calcul actuels qui permettent la modélisation et la simulation, l'appareillage s'améliore sans cesse. Cependant, les gains les plus importants en termes de sûreté de fonctionnement des installations (fiabilité, sécurité, maintenabilité) sont liés à l'emploi, qui se généralise, d'équipements sous enveloppe préfabriquée, testés en usine.

Mots clés

TTR : Tension transitoire de rétablissement.

PdC : Pouvoir de coupure.

Réallumage : Rétablissement du courant entre les contacts d'un appareil mécanique de connexion lors d'un manœuvre de coupure, avant un quart de période après le zéro de courant.

Réamorçage : Rétablissement du courant entre les contacts d'un appareil mécanique de connexion lors d'un manœuvre de coupure, après un quart de période après le zéro de courant.

Solénoïde : Bobine cylindrique.

Bibliographie

[1] **Serge THEOLEYRE, Schneider Electric cahiers techniques N° 193** : « Les techniques de coupure de en MT», édition septembre 1998.

[2] **Jean-Pierre NEREAU, Schneider Electric cahiers techniques**

N° 201 : «Sélectivité avec les disjoncteurs de puissance BT », édition mars 2001

[3] **J.PASTEAU, Schneider Electric cahiers techniques N° 127** : « Introduction à l'appareillage très HT », édition juin 1984

[4] **Robert Morel, Schneider Electric cahiers techniques N° 154** : « Techniques de coupures des disjoncteurs BT», édition juin 2000

[5]**Georges BERNARD, Schneider Electric cahiers techniques N° 171** : « les coupures par auto expansion », édition décembre 1993.

[6] **Vany Ignatova**

« Méthode d'analyse de qualité de l'énergie électrique » université technique joseph Fourier. Thèse de doctorat, 2006.

[7] **M^r Messaoud Mohammedi**

« Schéma et automates programmables» Mémoire de master », Université de Biskra, 2012.

[8] **Cadarc Bts ETT**

«Ressource de l'arc électrique» dossier d'étude, 2007

[9] **Edouard Kobada Nian**

« Problèmes de coupure d'un circuit », 2003.

[10] **Théodore Wildi, Gilbert sybille**

«Electrotechnique 4^{ème}edition», paris, 2005.

[11] **Hager**

«Le disjoncteur divisionnaire», dossier d'étude, 2001