



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



Université d'El Oued

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master II

Filière : Electrotechnique

Option : Réseaux Electriques

L'effet de la pollution désertique sur l'isolateur de haute tension

Présenté par :

MERAGHNI Tahar

GUIA Issam

Encadré par :

Mr. GUIA Talal

Promotion : 2014 / 2015

Dédicace

A mes chers parents, et toute ma famille

Tahar

A mes parents, à mes frères et sœurs

Issam

Remerciement :

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la volonté et le courage de mener à terme ce travail.

Nous tenons à remercier **Mr GUIA Talal** , pour le temps qu'il nous'a consacré, ses conseils avisés, ses remarques pertinentes et très précieuses.

Nous aimerions aussi remercier nos familles, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Sommaire :

Introduction générale	1
Chapitre I. Isolateurs de haute tension	3
1. Introduction :	3
2. Isolateurs de haute tension :	4
3. Types d'isolateurs :	4
3.1 Isolateurs rigides :	4
3.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne :	5
3.2.1 Isolateur long fut :	5
3.2.2 Isolateur capot et tige :	6
4. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs :	9
4.1 Céramique :	10
4.2 Verre :	10
4.2.1 Le verre trempé :	10
4.2.2 Le verre recuit :	10
4.3 Matériaux synthétiques :	10
5. Conclusion :	12
Chapitre II. Pollution des Isolateurs de Haute Tension	13
1. Introduction :	13
2. FORMATION ET REPARTITION DE LA COUCHE DE POLLUTION :	14
2.1 Non-uniformité longitudinale par groupe :	14
2.2 Non-uniformité transversale :	14
2.3 Non-uniformité longitudinale périodique :	15
3. SOURCES DE POLLUTION :	15
3.1 Pollution naturelle :	15
3.1.1 Pollution marine	15
3.1.2 Pollution désertique	15
3.1.3 Autres sources de pollution naturelle	16
3.2 Pollution industrielle :	16
3.3 Pollution mixte :	16

4.	CONSEQUENCES DE LA POLLUTION	16
4.1	Arc non localisé	17
4.2	Arc fixe	17
4.3	Contournement des isolateurs pollués	17
5.	MESURE DE LA SEVERITE D'UN SITE :.....	20
5.1	Classification des sites pollués.....	21
5.1.1	Classe 1	21
5.1.2	Classe 2.....	21
5.1.3	Classe 3	21
5.1.4	Classe 4.....	21
5.2	Méthodes de mesures de la sévérité d'un site :	21
5.2.1	Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) :	22
5.2.2	Conductance superficielle :	22
5.2.3	Courant de fuite	22
5.2.4	Contrainte de contournement.....	22
5.2.5	Mesure de la pollution de l'air :	23
5.2.6	Mesures optiques :	23
6.	METHODES D'ESSAIS SOUS POLLUTION :	23
6.1	Essais sous pollution naturelle :	23
6.2	Essais sous pollution artificielle :	24
6.2.1	Méthode de la couche solide :	24
6.2.2	Méthode du brouillard salin :	24
6.2.3	Méthode de pollution liquide :	25
7.	TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION :	25
7.1	Allongement de la ligne de fuite :	25
7.2	Isolateurs plats :	25
7.3	Graissage périodique :	25
7.4	Revêtement silicone :	26
7.5	Les isolateurs composites :	26
7.6	Nettoyage des isolateurs :	26
8.	CONCLUSION :	26
	Chapitre III. Etude Et Résultats Expérimentale	28

1.	Introduction	28
2.	Dispositif expérimental	29
2.1	Circuit d'essai du laboratoire de Haute tension (Université d'El Oued) :	29
2.1.1	Équipement de la station d'essai :	29
2.1.2	Transformateur d'essai :	29
2.1.3	Transformateur de réglage :	29
2.1.4	Oscilloscope numérique :	29
2.1.5	Pupitre de commande :	30
2.1.6	Appareils de mesure et de protection :	30
2.1.7	Diviseur de tension :	31
2.1.8	Circuit d'essai à tension alternatif :	31
3.	Mode opératoire	32
3.1	Modèle expérimental	32
3.2	Préparation du modèle	35
3.3	Préparation des solutions polluantes :	35
3.3.1	Les conductivités de la pollution en sable :	36
3.3.2	Les conductivités de la pollution en tuf :	37
3.3.3	Les conductivités de la pollution en argile :	38
3.4	Méthode de pulvérisation :	39
3.5	Application de la couche de pollution	40
4.	Correction atmosphérique	40
4.1	Influence de la densité relative de l'air :	40
4.2	Influence de l'humidité	41
5.	Procédé d'essais	41
5.1	Mesure de la tension du contournement	41
6.	Etude de la tension de contournement :	42
6.1	Identification du système d'électrodes formé par le modèle plan :	42
6.2	Tension de contournement :	43
6.2.1	Cas de pollution en sable :	43
6.2.2	Cas de pollution en Tuf :	48
6.2.3	Cas de pollution en Argile :	51

6.3	Comparaison entre les différentes pollutions désertiques en point de vue de la	
	Tension de contournement :	53
6.3.1	L'effet de la concentration de la pollution a la conductivité électrique :	53
6.3.2	L'effet de la concentration de la pollution a la tension de contournement :...	54
7.	Conclusion.....	56
Conclusion générale		57

Liste des figures

Figure I-1 : Isolateur rigide[TEG].....	4
Figure I-2 : Extrémités tronconiques	5
Figure I-3 : Extrémités en forme de tige	5
Figure I-4 : Isolateur capot et tige	6
Figure I-5 : Isolateur capot et tige de profil standard.....	7
Figure I-6 : Isolateur capot et tige de profil anti-brouillard (forme A).	7
Figure I-7 : Isolateur capot et tige de profil anti-brouillard (forme B).	8
Figure I-8 : un isolateur capot et tige de profil plat.	8
Figure I-9 : Isolateur capot et tige de profil sphérique.....	8
Figure I-10 : Avantage des matériaux synthétiques.....	11
Figure I-11 : Inconvénient des matériaux synthétiques	11
Figure II-1 : dépôt et évolution de l'agent polluant.....	18
Figure II-2 : Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite	19
Figure II-3 : Arc et bande sèche.....	19
Figure II-4 : Régime d'arcs sous pollution	20
Figure III-1 : Photo du pupitre de commande et oscilloscope numérique du laboratoire de haute tension de l'université d'El-Oued.....	30
Figure III-2 : Circuit d'essai à fréquence industrielle.	31
Figure III-3 : Photo du circuit d'essai à fréquence industrielle.	32
Figure III-4 : modèle d'isolateur.	33
Figure III-5 : les sites des lignes aériennes exposées aux différentes sources de pollutions désertiques et leurs échantillons.	34
Figure III-6 : conductimètre pour mesurer les différentes conductivités de pollution utilisées aux essais.....	35
Figure III-7 : variation de conductivité du sable en fonction la concentration du sable dans l'eau distillé	36
Figure III-8 : Mesures des différentes concentrations du sable dans l'eau distillé.....	36
Figure III-9 : variation de conductivité du Tuf en fonction la concentration du Tuf dans l'eau distillé.....	37
Figure III-10 : mesures des différentes concentrations du Tuf dans l'eau distillé	37
Figure III-11 : variation de conductivité d'argile en fonction la concentration d'argile dans l'eau distillée	38

Figure III-12 : mesures des différentes concentrations d'argile dans l'eau distillé.....	38
Figure III-13 : Méthode de pulvérisation pour la configuration uniforme	39
Figure III-14 : instrument de mesure pour les conditions atmosphériques (Humidité, température et pression)	40
Figure III-15 : Contournement d'un modèle d'isolateur sous pollution.....	42
Figure III-16 : les bandes de la pollution continue.....	42
Figure III-17 : les mesures pris pour la tension de contournement pour L=5cm	44
Figure III-18 : les mesures pris pour la tension de contournement pour L=10cm	45
Figure III-19 : les mesures pris pour la tension de contournement pour L=15cm	45
Figure III-20 : les mesures pris pour la tension de contournement pour L=20cm	46
Figure III-21 : la tension de contournement en fonction de la variation de la conductivité du sable.....	47
Figure III-22 : la tension de contournement en fonction de la variation de la largeur de pollution du sable	47
Figure III-23 : la tension de contournement en fonction de la variation de la conductivité du Tuf	50
Figure III-24 : la tension de contournement en fonction de la variation de la largeur de pollution du Tuf.....	50
Figure III-25 : la tension de contournement en fonction de la variation de la conductivité du l'argile	52
Figure III-26 : la tension de contournement en fonction de la variation de la largeur de pollution du l'argile	53
Figure III-27 : la variation de la conductivité de pollution en fonction la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile.....	54
Figure III-28 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour L=5cm	54
Figure III-29 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour L=10cm	55
Figure III-30 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour L=15cm	55
Figure III-31 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour L=20cm	55

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Caractéristiques géométriques des isolateurs à capot et tige (CEI 60305) [TER05].....	9
Tableau III-1 : Essai de contournement pour modèle plan en état sec et humide.....	43
Tableau III-2 : Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=5cm.	44
Tableau III-3 : Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=10cm. .	44
Tableau III-4 : Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=15cm. .	45
Tableau III-5 : Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=20cm. .	46
Tableau III-6 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=5cm.....	48
Tableau III-7 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=10cm.....	48
Tableau III-8 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=15cm.....	49
Tableau III-9 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=20cm.....	49
Tableau III-10 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=5cm.....	51
Tableau III-11 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=10cm.....	51
Tableau III-12 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=15cm.....	52
Tableau III-13 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=20cm.....	52

Introduction générale

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut parfois survenir.

L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution. Ainsi, la répartition du potentiel est modifiée d'une façon significative et des arcs partiels peuvent apparaître. Ces derniers peuvent évoluer jusqu'au contournement total de l'isolateur. Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension. Ainsi, une des caractéristiques principale d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé.

Des nombreux travaux, aussi bien théorique qu'expérimentaux ont été entrepris dans le domaine de la pollution des isolateurs afin de mieux comprendre le phénomène de contournement et de se prémunir d'outils permettant le suivi de son évolution et d'éviter son apparition. La complexité du phénomène et le grand nombre de paramètres qui le caractérisent tels que la nature du dépôt polluant [DAN83, TEG02], la conductivité superficielle et le profil de l'isolateur [ZHA99, ELK70], rendent la compréhension et la maîtrise du mécanisme de contournement bien difficiles. Les résultats de recherche ont néanmoins permis d'établir des modèles donnant les caractéristiques des décharges évoluant sur les surfaces d'isolateurs et ce jusqu'au contournement. La plupart de ces modèles sont empiriques ou semi empiriques.

Le présent travail comporte trois parties et porte sur l'étude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des isolateurs dans les conditions de pollution.

Dans le premier chapitre, nous présentons, l'importance des isolateurs, leur utilité et leurs principaux types, profils et matériaux.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des phénomènes de pollution et leurs conséquences sur le transport d'énergie électrique. Les principaux paramètres associés ainsi que les méthodes de mesure et les moyens de lutte contre ce phénomène, sont également présentés.

Finalement notre travail est achevé par une partie expérimentale qui présente l'effet des différents types de pollution désertiques sur un modèle d'isolateur rectangulaire (modèle d'Obenaus [OBE58]) tel que la tension de contournement et la conductivité superficielle

Chapitre I. Isolateurs de haute tension

1. Introduction :

Le rôle des isolateurs est de relier les conducteurs aux supports en assurant leur isolation électrique. En effet, un bon choix de dimensionnement des isolateurs s'avère indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension.

Dans ce chapitre nous allons présenter les isolateurs de haute tension et leurs types.

2. Isolateurs de haute tension :

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

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

3. Types d'isolateurs :

Vu les différentes façons d'utilisations et les différentes conditions de fonctionnement des isolateurs, on en distingue des types différents des isolateurs. La différence entre ces types se fait soit par leur fonction (support ou traversée), soit par le matériau isolant utilisé pour la fabrication de ces isolateurs, soit encore par leur profil ou par leur mode de fixation.

3.1 Isolateurs rigides :

Ce type d'isolateur permet d'obtenir une liaison rigide entre le support et le câble. Il est constitué d'un ou plusieurs isolateurs encastrés et scellés entre eux, ils sont fixés aux pylônes par des ferrures de différentes formes (Figure I.1). Ils sont montés sur pylônes soit d'une façon verticale, horizontale ou oblique (inclinée). Mais ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 KV [TER05].

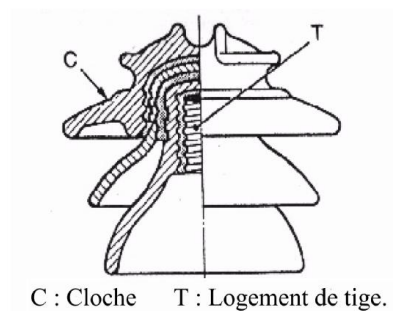


Figure I-1 : Isolateur rigide[TEG]

3.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne :

Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs [TER05, CHO83]. La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage).

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- L'isolateur capot et tige.
- L'isolateur long fut.

3.2.1 Isolateur long fut :

Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques muni d'ailettes. A chaque extrémité il y a une pièce métallique pour les liaisons [ARR99]. Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle enveloppe les extrémités tronconiques sur le cylindre (**Figure I.2**), soit en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet (**Figure I.3**) [TEG, TER05].

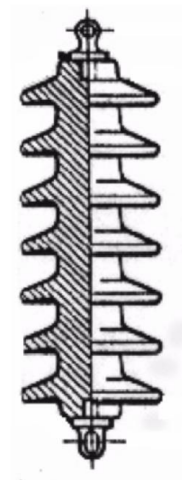


Figure I-2 : Extrémités tronconiques

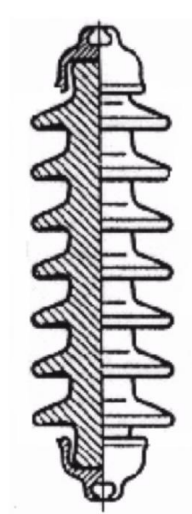


Figure I-3 : Extrémités en forme de tige

3.2.2 Isolateur capot et tige :

Capot et tige est constitué d'un corps isolant qui porte à l'intérieur une tige en acier, où la tête conique de cette tige est scellée dans le matériau isolant soit le verre soit la porcelaine. L'extrémité supérieure de l'isolateur porte un capot scellé en fonte malléable troué de telle sorte qu'on peut faire entrer l'extrémité inférieure de la tige dans ce trou, et le scellement des éléments de chaîne capot et tige se fait de cette façon en faisant pénétrer la partie inférieure de la tige de l'élément supérieur dans le capot de l'élément inférieur en utilisant du ciment (**Figure I.4**) [TEG]

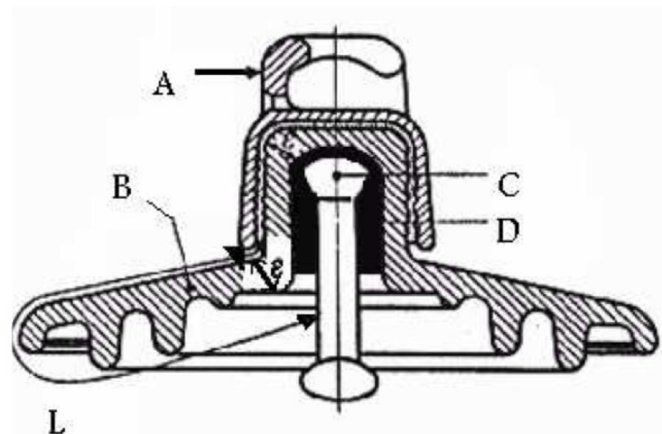


Figure I-4 : Isolateur capot et tige

A : le capot.

B : le diélectrique (verre trempé ou céramique).

D : le ciment de fixation.

C : la tige.

L : Plus courte distance dans l'air entre le capot et la tige.

ε : Longueur du canal de perforation, $\varepsilon \ll L/2$.

On peut trouver plusieurs profils d'isolateurs capot et tige et ceci pour un meilleur fonctionnement.

A. Profil standard :

La forme et les dimensions sont en accord avec la normalisation internationale (CEI 305 1978), à cause de leur planéité, les rainures internes bien espacées et la longueur de la ligne de fuite supérieure à la demande standard. Ce type est très utilisé dans les endroits à pollution moyenne (**Figure I.5**) [TER05].



Figure I-5 : Isolateur capot et tige de profil standard.

B. Profil anti-brouillard (forme A):

Son diamètre est plus grand que celui du profil standard. Il est muni de deux ou trois rainures à grande profondeur. Le profil et les grands espacements des rainures permettent un auto lavage par l'action de vent et de la pluie. Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire (**Figure I.6**) [TEG, TER05].

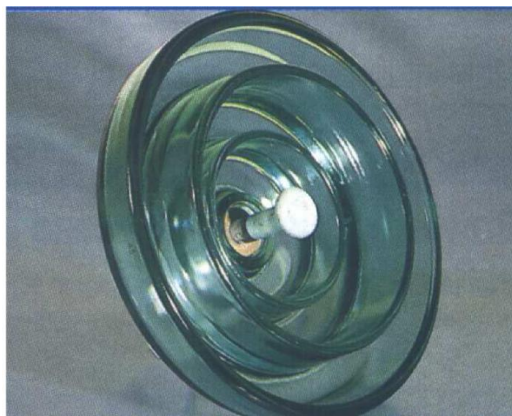


Figure I-6 : Isolateur capot et tige de profil anti-brouillard (forme A).

C. Profil anti-brouillard (forme B):

Dans cette conception, l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et de dépôt des sels minéraux sur la surface de l'isolateur, empêchant alors la formation d'un électrolyte conducteur sur la surface. Ce type d'isolateur est efficace dans les zones côtières (**Figure I.7**).

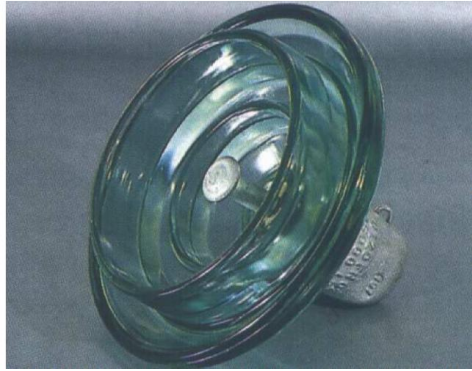


Figure I-7 : Isolateur capot et tige de profil anti-brouillard (forme B).

D. Profil plat :

L'élimination complète des rainures internes réduit l'accumulation des agents polluants sur la surface basse, grâce au courant d'air, cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquent par la pluie (**Figure I.8**).



Figure I-8 : un isolateur capot et tige de profil plat.

E. Profil sphérique :

La forme sphérique d'une longueur de fuite importante avec absence des rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace (**Figure I.9**).



Figure I-9 : Isolateur capot et tige de profil sphérique.

F. Caractéristiques géométriques :

En effet, les caractéristiques géométriques (diamètre externe de la partie isolante, longueur de la ligne de fuite...) des isolateurs à capot et tige diffèrent selon leurs conditions de service (tension de service, sévérité de la pollution du site ...). Ci-dessous quelques caractéristiques géométriques selon la publication CEI 60305 (**Tableau I.1**) [TER05].

Désignation CEI	Charge de rupture (KN)	Diamètre extérieur (mm)	Pas Nominal (mm)	Longueur de la ligne de fuite (mm)
U 40	40	175	100 110	185
U 70	70	255	127 146	280
U 100	100	255 288 ⁽¹⁾	127 146 ⁽¹⁾	318 440 ⁽¹⁾
U 160	160	280 320 ⁽¹⁾	146 170 ⁽¹⁾	370 540 ⁽¹⁾
U 300	300	320	195	480
U 400	400	360 380	206 220	525 550
U 530	530	380 440	240 255	600 640

Tableau I-1 : Caractéristiques géométriques des isolateurs à capot et tige (CEI 60305) [TER05].

(1) Isolateurs utilisés dans des zones polluées.

4. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs :

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont : le poids lourd des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages. Ces dernières années on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères [TER05, ARR99].

4.1 Céramique :

Le développement et la fabrication des céramiques datent depuis longtemps à cause de leurs performances. Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramiques à grains très fins. Souvent on trouve les céramiques dans les postes: isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance [ARR99].

4.2 Verre :

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne et haute tension sont en verre [TER05, ARR99]. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts est très facile. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

4.2.1 Le verre trempé :

La résistance à la traction du verre trempé est environ 5 à 6 fois plus grande que le verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100° C [TER05, ARR99].

4.2.2 Le verre recuit :

Le verre recuit est utilisé pour la fabrication d'isolateurs rigides, mais présente cependant des inconvénients. Parmi ces inconvénients, nous citons le fait qu'il ne résiste pas aux variations brusques de température et qu'il ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles et c'est pour cette raison qu'il n'est pas utilisé pour la fabrication des isolateurs de suspension [TEG, TER05].

4.3 Matériaux synthétiques :

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leur avantage est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique (**Figure I.10**) [TEG, ARR99, TER05].

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères (**Figure I.11**). [TEG] L'inconvénient de ces isolateurs est le

vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...)

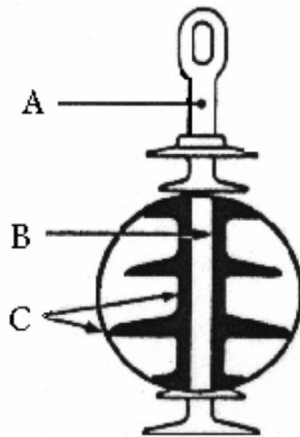


Figure I-10 : Avantage des matériaux synthétiques

A : Pièces d'accrochage métallique.

B : noyau en fibre de verre-résine.

C : Revêtement à ailettes en matériaux synthétiques.



Figure I-11 : Inconvénient des matériaux synthétiques

5. Conclusion :

Nous allons pu voir en cours de ce chapitre la définition et les types des isolateurs, La pollution de ces isolateurs figure comme un vrai problème néfaste à leur bon fonctionnement. La tension de tenue des isolateurs peut diminuer considérablement à cause des dépôts polluants recouvrant leurs surfaces. Ils peuvent même conduire au contournement des isolateurs dans certains cas critiques. Nous nous intéressons dans le prochain chapitre à la pollution de ces isolateurs

Chapitre II. Pollution des Isolateurs de Haute Tension

1. Introduction :

L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident. La sévérité de la pollution d'un site ouvrage routier voisin ou plus simplement, un événement météorologique exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution [CIM90].

2. FORMATION ET REPARTITION DE LA COUCHE DE POLLUTION :

La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs dépendent du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou inclinée) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué.

En général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto-nettoyage (vent et forte pluie). Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs est loin d'être uniforme [NEU 59]. Cette non-uniformité devient plus accentuée lorsque la longueur des chaînes d'isolateurs augmente.

La non-uniformité de la pollution peut être classée en trois catégories [STR 83]:

2.1 Non-uniformité longitudinale par groupe :

Elle est caractérisée par un ensemble de groupes d'isolateurs, soumis à différentes conductivités de la couche de pollution, dont la valeur est constante dans chaque groupe. Nous retrouvons ce type de pollution dans les cas suivants :

- temporairement pendant le lavage sous tension,
- dans les chaînes d'isolateurs en forme de « T »,
- par effet du champ électrique où la concentration de la pollution est accentuée sur les isolateurs les plus proches de la borne haute tension.

2.2 Non-uniformité transversale :

Ce type est caractérisé par des secteurs ou bandes de différentes conductivités superficielles de la couche polluante. Ces bandes sont réparties transversalement autour de la surface de chaque isolateur de la chaîne. La conductivité dans chaque secteur est la même le long de la ligne de fuite. Ce type de pollution est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies.

2.3 Non-uniformité longitudinale périodique :

Ce type est le plus fréquent. Il est caractérisé par une variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite, mais elle garde une symétrie circulaire. Ces principales spécifications sont :

- la face inférieure de l'isolateur présente une conductivité plus grande que la face supérieure,
- la concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale,
- la pollution est plus accentuée entre les nervures.

3. SOURCES DE POLLUTION :

La nature de la pollution dépend de la situation géographique et climatique. Les diverses sources de pollution les plus fréquemment observées sur les isolateurs peuvent être regroupées selon leur origine et classées comme suit :

3.1 Pollution naturelle :

Cette pollution peut être marine, désertique ou autre, provenant des dépôts de poussières véhiculés par les vents.

3.1.1 Pollution marine

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [MEK 99].

3.1.2 Pollution désertique

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels. Une fois humidifiée, cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite

apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surfaces de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur [NAM 98, CEI 73].

3.1.3 Autres sources de pollution naturelle

La pluie est un phénomène naturel propice à l'humidification des isolateurs par excellence. Lorsqu'elle est intense, elle est susceptible de provoquer la désagrégation des dépôts solides. Cependant, cet auto-lavage, favorable à l'amélioration des qualités diélectriques des isolateurs, est contrarié par le phénomène de ruissellement [MEK 99].

En présence d'une pluie violente, un film continu d'eau peut s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne ou de colonne isolante. Comme l'eau n'est jamais parfaitement isolante, ce phénomène peut entraîner le contournement de la chaîne d'isolateur ; c'est le contournement sous pluie [MEK 99].

3.2 Pollution industrielle :

La pollution industrielle provient des fumées évacuées à proximité de raffineries, de cimenteries, de complexes sidérurgiques ou même aux abords des centrales thermiques. Pour les régions exemptes des fumées, cette pollution peut être d'origine domestique (appareils de chauffage polluants, véhicules automobiles, ...) ou agricole (engrais). Les isolateurs se recouvrent des poussières faiblement conductrices, mais hygroscopique (absorbe l'humidité). A la présence d'une humidité intense, le sel contenu dans ces poussières abaisse considérablement la résistivité superficielle des isolateurs et le contournement peut parfois survenir [HEI 82].

3.3 Pollution mixte :

Ce type de pollution résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées, comme exemple les pollutions marine et industrielle lorsque les installations électriques sont situées en bord de mer.

4. CONSEQUENCES DE LA POLLUTION

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs provoquent une conductivité électrique superficielle. Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Suivant les conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard,...), la tension de

rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite.

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur [LAM 72] :

4.1 Arc non localisé

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorce à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition de courant de fuite entraînant une petite perte d'énergie, généralement supportable par l'installation.

4.2 Arc fixe

L'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en se réamorçant au même endroit (courant alternatif). Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant nécessitant le remplacement de l'élément défaillant.

4.3 Contournement des isolateurs pollués

L'accumulation du dépôt est continue et n'est modifiée que par la pluie et le vent. En position verticale, le nettoyage est plus efficace sur le dessus de l'isolateur que sur le dessous, d'où un dépôt plus important sur la surface inférieure des ailettes.

Le comportement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes. Chacune de ces étapes a une importance sur le résultat final, donc sur la tenue ou le contournement de la chaîne isolante sous tension de service du réseau.

Etape 1 : Dépôt de la pollution

Les particules du dépôt sont apportées par le vent (l'isolateur, par sa présence, modifie le régime laminaire du vent) et se concentrent entre les nervures ou autour du capot (**Figure II.1**)

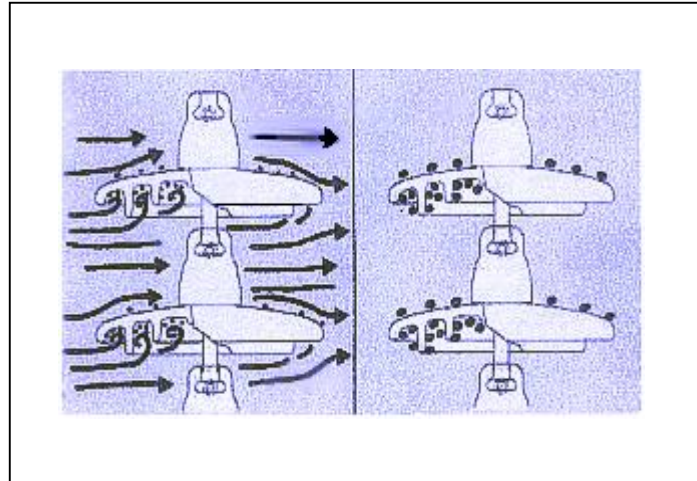


Figure II-1 : dépôt et évolution de l'agent polluant

Les facteurs d'accumulation sont les suivants :

- la nature, le poids et la taille des particules polluantes,
- la distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol d'où peut provenir des poussières,
- la vitesse du vent,
- l'orientation de la chaîne, et surtout la forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto-nettoyage par les fortes pluies et vents.

Etape 2 : Humidification de la pollution

Le brouillard, la condensation de la petite pluie modifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions correspondent à des conditions dites critiques. Les sels contenus dans le dépôt se dissolvent et créent un électrolyte conducteur sur la surface de l'isolateur. Un courant de fuite prend alors naissance dès qu'un film conducteur se forme sur la surface de l'isolateur (Figure II.2).

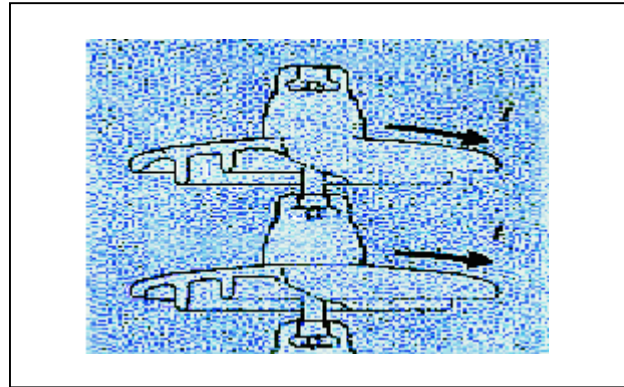


Figure II-2 : Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, puis diminue s'il y a séchage. Le niveau de courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et insolubles. Ces derniers maintiennent par absorption une certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur, entretenant ainsi l'humidification du dépôt.

Etape 3 : Développement des zones sèches et apparition d'arcs

La densité du courant de fuite est beaucoup plus importante près des ferrures de l'isolateur. Par effet Joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt devient moins conducteur. Le courant est alors très réduit en amplitude par la présence d'une «bande sèche».

La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par cette bande sèche, car la plus grande portion du potentiel électrique se trouve reportée aux bornes de cette bande sèche. Si la largeur de cette dernière est insuffisante pour supporter le potentiel correspondant, un arc se crée (**Figure II.3**).

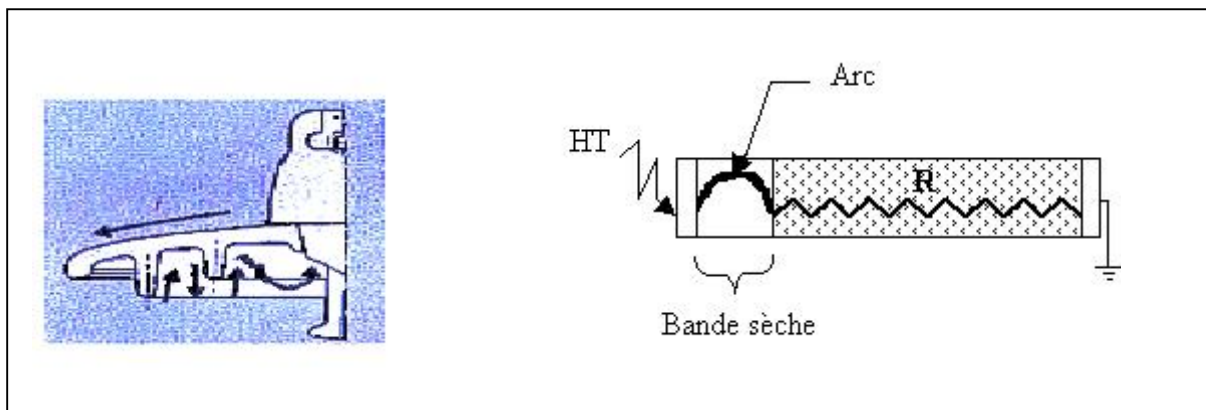


Figure II-3 : Arc et bande sèche

Etape 4 : Comportement des arcs

La résistance du dépôt humidifié R , en série avec l'arc, limite le courant et la longueur de l'arc (Figure II.3). Si le courant est trop faible, l'arc s'éteindra, la bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'excède pas ce que l'on appelle «courant critique » correspondant à une «longueur critique » de l'arc, cette situation reste stable (Figure II.4). Dans le cas contraire, le contournement de l'isolateur peut survenir.

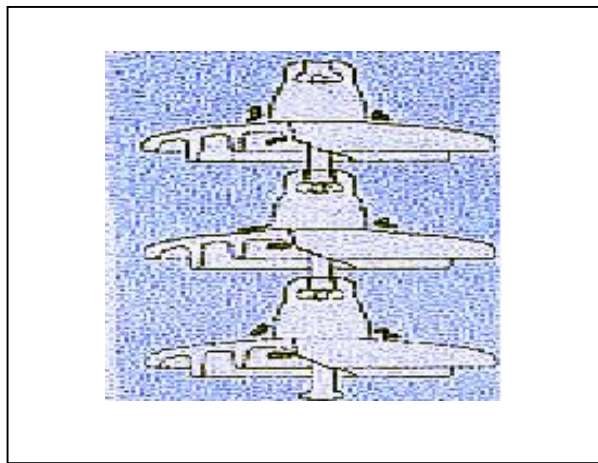


Figure II-4 : Régime d'arcs sous pollution

5. MESURE DE LA SEVERITE D'UN SITE :

Afin de dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d'assurer un service sans défaillance dans un site pollué, il est nécessaire de caractériser la sévérité de pollution de ce site. La sévérité est généralement caractérisée par l'intensité de précipitation, ainsi que par la conductivité des dépôts polluants [BUP 76].

Si la résistivité de la pollution humidifiée est suffisamment faible et que le courant de fuite augmente jusqu'au point de dépasser le seuil du courant critique, la longueur de l'arc s'allonge rapidement et court-circuite l'isolateur. Cette situation doit être bien sûr évitée, pour maintenir la qualité du service.

5.1 Classification des sites pollués

Afin d'évaluer l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la méthode de brouillard salin et les conditions de pollution naturelle, quatre classes de sévérité ont été proposées [HEI 82] :

5.1.1 Classe 1

Cette classe correspond à une pollution faible. Cette pollution est généralement naturelle (sauf marine) ou légèrement industrielle. La salinité équivalente maximale retenue pour cette classe correspond à une pulvérisation d'une solution de chlorure de sodium à 2,5 g/l de concentration.

5.1.2 Classe 2

La classe 2 correspond à une pollution moyenne. En général, cette pollution est naturelle (sauf marine) ou faiblement industrielle. En classe 2, la sévérité équivalente maximale retenue est de 10 g/l.

5.1.3 Classe 3

Cette classe correspond à des zones très localisées où l'on trouve simultanément une forte pollution marine et industrielle. Il s'agit donc de zones à densité industrielle importante, de grandes villes ou de zones proches de la mer soumises à l'action directe des embruns. Ces sites nécessitent un isolement important. La salinité équivalente maximale, concernant cette classe, est de 80 g/l.

5.1.4 Classe 4

La classe 4 correspond aux zones où le niveau de pollution est exceptionnel. La pollution est éventuellement naturelle ou mixte. La salinité équivalente maximale pour la classe 4 est de 160 g/l.

5.2 Méthodes de mesures de la sévérité d'un site :

Les principales méthodes proposées pour caractériser la sévérité d'un site sont [LAM 72, CEI 73, CIG 79, BOU 78] :

5.2.1 Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) :

La densité du dépôt de sel équivalent est le dépôt équivalent exprimé en mg de NaCl/cm² de la surface d'un isolateur, ayant une conductivité équivalente égale à un dépôt polluant réel dissous dans la même quantité de solution.

Des échantillons de sel sont prélevés à la surface d'un isolateur témoin, en utilisant un matériau absorbant (coton, ...) et de l'eau distillée. Le dépôt est ensuite dissout dans une quantité de solution connue. La conductivité de la solution obtenue ainsi que les caractéristiques de l'isolateur permettent de déterminer la salinité équivalente. Les mesures doivent être répétées avec une fréquence suffisante, afin d'obtenir les niveaux entre les périodes de lavage naturel [BOU 78].

5.2.2 Conductance superficielle :

La conductivité superficielle est obtenue en multipliant la conductance σ par un facteur de forme de l'isolateur. Généralement, la tension est appliquée aux électrodes terminales, ce qui fournit la conductivité superficielle globale de l'isolateur [LAM 72, TEG 93].

Ainsi, la mesure de la conductance superficielle est une méthode satisfaisante pour évaluer la sévérité de la pollution d'un site. Elle peut être représentative d'un type de site étudié, mais en général, elle présente des résultats dispersés [MEZ 02].

5.2.3 Courant de fuite

Par comptage d'impulsions, on enregistre pendant une période donnée, sur un isolateur soumis à sa tension de service, le nombre d'impulsions du courant de fuite dépassant une amplitude fixée à l'avance. L'existence d'impulsions précède généralement la phase de contournement. Pour l'enregistrement, on utilise un isolateur en service ou un isolateur témoin et un dispositif permettant de compter les impulsions du courant de fuite [LAM 72].

On mesure, par la suite, la plus forte valeur de crête du courant de fuite. On utilise des isolateurs témoins et une station de mesure fiable et nécessitant un minimum d'entretien. Les mesures devant être effectuées pendant une période relativement longue [LAM 72, CIG 79].

5.2.4 Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'un isolateur est la tension de contournement divisée par la longueur totale de l'isolateur. Sur site, la contrainte de contournement peut être mesurée de différentes façons [CIG 79].

- Installation de chaînes d'isolateurs de même type, mais de différentes longueurs, et soumises à une tension constante. On estime les probabilités de contournement à partir des proportions d'amorçage enregistrées.
- Une autre méthode consiste à disposer des fusibles sur chaque chaîne, afin que la chaîne accroisse sa longueur effective jusqu'à atteindre le niveau de tenue en tension.

5.2.5 Mesure de la pollution de l'air :

Les mesures de pollution de l'air s'effectuent sur une période de temps donnée et permettent d'évaluer l'intensité et les caractéristiques de la pollution de l'air sur un site. Les méthodes de mesure adoptées partent du principe qu'en ce qui concerne les phénomènes de contournement, une corrélation peut être établie entre l'analyse physico-chimique de l'air dans un site et la sévérité de la pollution de même site [LAM 72, TEG 93].

5.2.6 Mesures optiques :

Le but des mesures optiques est d'évaluer l'épaisseur de la couche de pollution déposée à la surface de l'isolateur. Un dispositif à rayons lasers permet à partir des rayons réfléchis (amplitude, décalage de phase, ...etc.), de calculer la constante diélectrique et l'épaisseur de la couche de pollution. La mesure de la sévérité de la pollution peut ainsi se faire sans toucher à cette couche [LAM 72, TEG 93].

6. METHODES D'ESSAIS SOUS POLLUTION :

Pour comparer les performances de divers types d'isolateurs et sélectionner ceux qui présentent le meilleur comportement sous pollution, il est nécessaire de les soumettre à des essais. Ces derniers peuvent être effectués dans les conditions naturelles (sur site) ou au laboratoire. On distingue deux catégories de recherches sur les isolateurs pollués : les essais sous pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle [TEG 93, LAM 78].

6.1 Essais sous pollution naturelle :

Ils consistent à installer, dans les différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observe le comportement d'un certain nombre de chaînes d'isolateurs de longueurs ou de profils différents. Les qualités respectives de ces isolateurs, placés sous la même tension, sont appréciées en fonction des temps au contournement [BOU 88].

On peut classer les isolateurs en distinguant ceux qui ont contourné de ceux qui ont tenu, durant deux ou trois ans d'exposition, par exemple.

Ces essais ont l'avantage de tenir compte de l'effet de toutes les contraintes, dans toutes leurs complexités sur un site donné [TEG 93]. L'inconvénient majeur de ces essais est qu'ils nécessitent plusieurs années, pour pouvoir étudier valablement les performances des isolateurs.

6.2 Essais sous pollution artificielle :

Ils consistent à reproduire en laboratoire les conditions de la pollution naturelle. Ils sont aujourd'hui largement utilisés et ont l'avantage d'être rapides. Les méthodes d'essais qui demeurent actuellement normalisées sont les méthodes de la couche solide, la méthode du brouillard salin et la méthode de la pollution liquide.

6.2.1 Méthode de la couche solide :

Dans ces méthodes, la surface isolante est recouverte par pulvérisation d'une couche de pollution solide constituée de chlorure de sodium et d'un agent liant inerte. La conductivité de cette suspension est réglée par addition d'une certaine quantité de chlorure de sodium.

Si l'humidification s'effectue après application de la tension (méthode du brouillard à vapeur), le paramètre de sévérité est défini par la densité de dépôt de sel en mg/cm^2 .

Par ailleurs, si l'humidification a lieu avant l'application de la tension, le paramètre de sévérité est défini par la conductivité de la couche polluante.

Certains chercheurs ont utilisé une couche semi-conductrice comme agent polluant [TEG 03].

6.2.2 Méthode du brouillard salin :

La solution saline utilisée dans la méthode du brouillard salin représente assez bien la pollution marine contenant un peu de matière insoluble. Dans cette méthode, l'isolateur soumis à la tension d'essai, est placé dans un brouillard salin dont le taux de salinité définit la sévérité.

D'après la classification des sites pollués, les valeurs de salinités appliquées sont choisies selon une progression allant de 2.5 à 160 kg/m^3 [HEI 82].

6.2.3 Méthode de pollution liquide :

Cette méthode s'apparente à la méthode du brouillard propre dans la mesure où un mélange liquide est appliqué sur l'isolateur avant l'essai. Cependant, dans ce cas la pollution n'est pas séchée avant l'essai. Elle est constituée d'eau, de craie et de méthylcellulose ou de kaolin. Comme pour la méthode de la couche solide la conductivité est ajustée par addition de chlorure de sodium.

Après quelques minutes d'égouttage, la tension d'essai est appliquée à l'isolateur sans humidification supplémentaire.

7. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION :

L'augmentation du degré de pollution représente un risque immense pour les installations électriques. Pour cela plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont utilisées.

7.1 Allongement de la ligne de fuite :

Cette méthode permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont utilisées :

- Le changement de type d'isolateur (pour rallonger la ligne de fuite) : c'est une technique très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
- L'utilisation de prolonger de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants [LAM 78].

7.2 Isolateurs plats :

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'autonettoient très bien sous l'effet du vent [CIM 78].

7.3 Graissage périodique :

Par mesure économique, seuls les isolateurs de postes sont concernés. On utilise des graisses silicones. Grâce à ses propriétés hydrophobes, la graisse protège temporairement les isolateurs [LAM 78, CIM 90].

7.4 Revêtement silicone :

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Ce revêtement protège les isolateurs et améliore leurs tenues sous pollution.

7.5 Les isolateurs composites :

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au cours du temps ; ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service.

7.6 Nettoyage des isolateurs :

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde. Néanmoins, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues. Pour éviter ces coupures, un lavage sous tension des isolateurs est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans les deux cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau du lavage, le processus du lavage et les distances de sécurité, et ce afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

8. CONCLUSION :

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension.

Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation. Il n'en demeure pas moins que trois années sont au minimum nécessaires pour déterminer la sévérité d'un site.

Le fait de disposer d'une méthode de pollution artificielle permet de n'effectuer l'expérimentation (sur site) que sur un seul type d'isolateurs et éventuellement à un niveau de tension différent que celui prévu, ce qui constitue déjà un avantage considérable.

Afin d'être en mesure de fournir rapidement des renseignements concernant l'isolement nécessaire, il serait préférable de disposer d'une carte de sévérité des principaux sites pollués. On propose de les classer en quatre catégories de sévérité auxquelles correspondent des longueurs minimales de lignes de fuite à respecter pour les isolateurs en services dans ces sites.

Chapitre III. Etude Et Résultats Expérimentale

1. Introduction

Dans le laboratoire de haute tension de l'université d'el oued, où notre étude expérimentale a été effectuée, existe un transformateur d'essais à fréquence industrielle 50 Hertz.

Afin d'assurer un bon fonctionnement des équipements de haute tension, des essais diélectriques sont nécessaires.

Les essais effectués, au laboratoire de haute tension, concernent les tensions de contournements d'un modèle d'isolateur de labo de haute tension. Ce modèle est utilisé dans les régions désertiques Algériennes.

Nous nous sommes intéressés à la détermination de la tension de contournement en fonction de la largeur de la pollution.

Dans ce chapitre nous présentons l'équipement de la station d'essais. Nous présentons aussi les différents types d'essais, et le modèle opératoire utilisé pour les essais de haute tension ainsi que les procédés d'essai en suite nous interprétons nos résultats.

2. Dispositif expérimental

2.1 Circuit d'essai du laboratoire de Haute tension (Université d'El Oued) :

Les essais sont effectués dans le laboratoire de haute tension de l'université d'El Oued.

Notre laboratoire est constitué des trois sources de tensions:

- Une source de tension à fréquence industrielle 50Hz,
- un générateur de tension continue,
- un générateur de tension impulsionnelle.

2.1.1 Équipement de la station d'essai :

La station d'essai de notre laboratoire comprend les organes suivants :

- Un transformateur d'essai,
- un transformateur de réglage,
- des diviseurs de tension,
- un pupitre de commande et des appareils de mesure et de protection,
- un oscilloscope numérique.

2.1.2 Transformateur d'essai :

Nous avons utilisé un transformateur d'essai conçu et isolé pour la génération de haute tension. Il a un rapport de transformation de 250V / 100kV, avec une puissance de 5 kVA.

Ce transformateur permet la variation de la haute tension au secondaire de 0 à pleine tension.

2.1.3 Transformateur de réglage :

Nous permettons la variation de la tension aux bornes du transformateur d'essai.

Son rapport de transformation est de 220V/250V.

2.1.4 Oscilloscope numérique :

C'est un appareil qui permet de donner la forme de l'onde. Les phénomènes enregistrés. (Figure III.1).

2.1.5 Pupitre de commande :

Ce pupitre est alimenté sous une tension de 220V. Ce pupitre nous permettons la variation automatique de la tension d'essai. Figure (III.1).



Figure III-1 : Photo du pupitre de commande et oscilloscope numérique du laboratoire de haute tension de l'université d'El-Oued.

2.1.6 Appareils de mesure et de protection :

L'alimentation du laboratoire se fait à partir d'un pupitre de commande situé dans le laboratoire, mais à l'extérieur de la plate-forme d'essai (la cage de faraday). Le transformateur de haute tension et son régulateur sont protégés indépendamment par un fusible et un relais thermique de 250A. Ces protections sont liées avec le circuit de la bobine du contacteur principal, ce qui donne une protection suffisante contre les surcharges du transformateur et les courants de court-circuit.

Pour les mesures de tension on a :

DSM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension alternatif.

DGM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension continue.

Un voltmètre et ampèremètre pour mesurer de la tension primaire au niveau du transformateur d'essai.

2.1.7 Diviseur de tension :

Il existe deux diviseurs de tension :

- Un diviseur de tension capacitif pour la mesure de la tension à fréquence industrielle.
- Un diviseur de tension résistif pour la mesure de la tension continue.

2.1.8 Circuit d'essai à tension alternatif :

Les générateurs de haute tension alternative à fréquence industrielle sont utilisés pour:

- Les essais à haute tension alternative (transformateurs haute tension).
- L'alimentation (transformateurs haute tension) des redresseurs à courant continu, des générateurs à circuit oscillant et des générateurs de choc.

La Figure III.2 représente le circuit d'essai à tension alternatif réalisé au laboratoire de haute tension. Figure III.3 est celle du montage réalisé au laboratoire de haute tension.

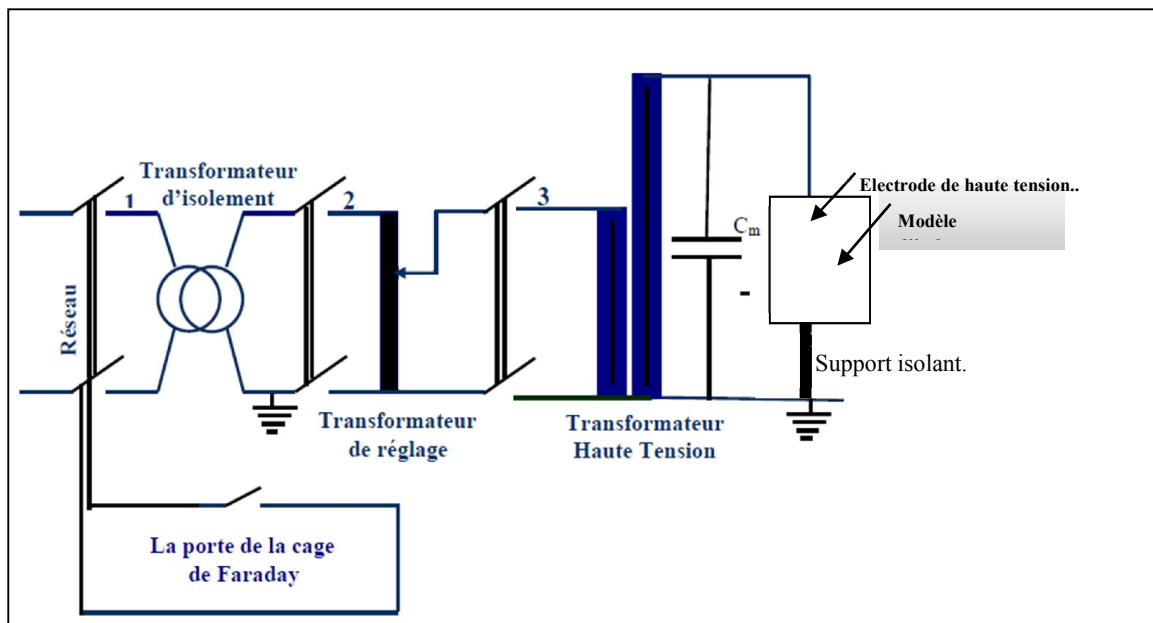


Figure III-2 : Circuit d'essai à fréquence industrielle.

C_m : Condensateur de mesure.

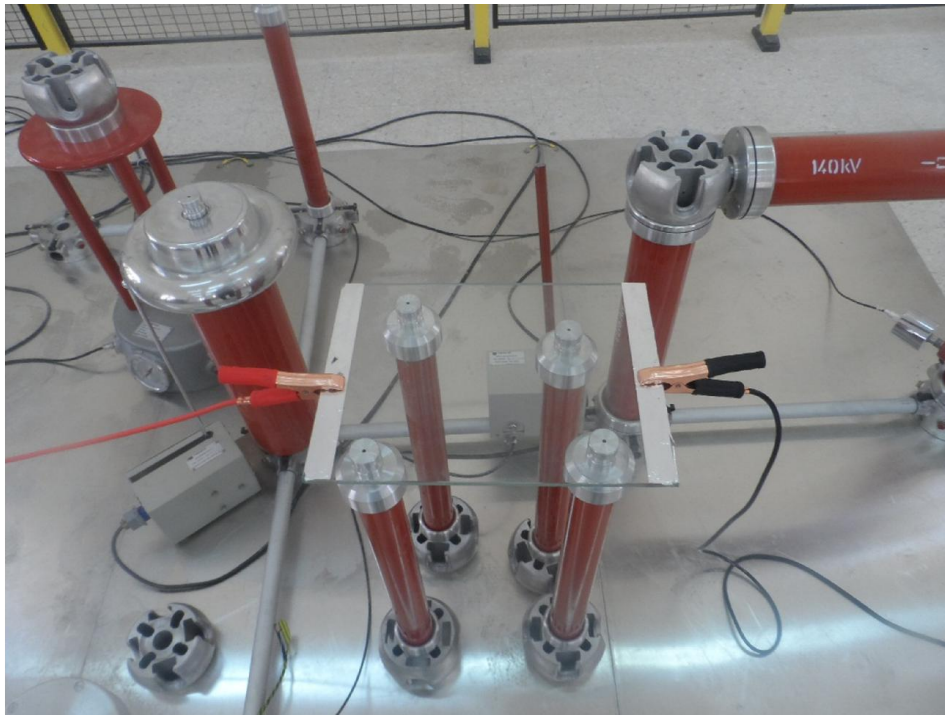


Figure III-3 : Photo du circuit d'essai à fréquence industrielle.

3. Mode opératoire

La plupart des travaux considèrent des modèles expérimentaux de géométrie simple et rarement le profil d'un isolateur réel. Cependant, si ces modèles équivalents ne reflètent pas exactement le comportement des isolateurs réels, ils permettent, par contre, une meilleure visualisation du phénomène de décharge électrique.

3.1 Modèle expérimental

A cause de la symétrie de l'isolateur, le modèle expérimental que nous avons proposé, est un modèle dont la forme rectangulaire. Il est constitué d'une plaque de verre de largeur ($d = 300\text{mm}$) et épaisseur ($e = 8\text{mm}$) ayant la propriété de résister à la chaleur due aux décharges électriques.

Cette plaque est munie à deux électrodes en papier aluminium. L'une représente le capot, relié à la terre, et l'autre aussi mise à la borne de haute tension. Le modèle du laboratoire proposé est soumis à une répartition continue de la pollution reproduisant l'état critique de surface de l'isolateur capot et tige, (figure III.4).

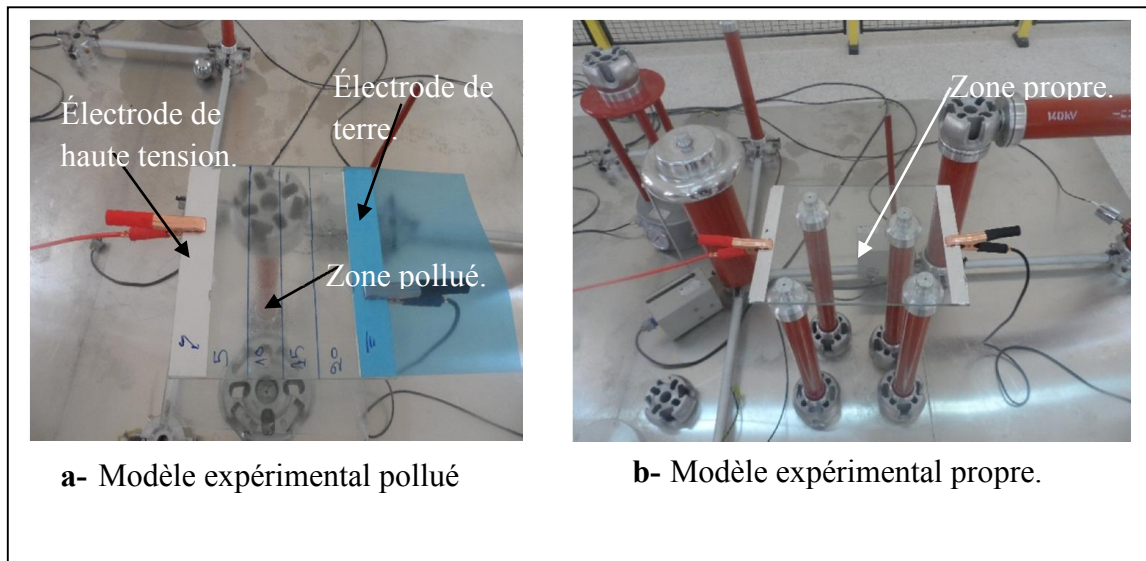
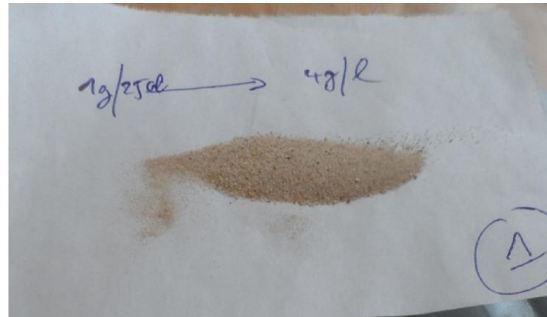


Figure III-4 : modèle d'isolateur.

La distance inter électrodes du modèle expérimental ($d=20$ mm) correspond à la ligne de fuite de l'isolateur. Afin de simuler une pollution parfaitement conductrice, les couches polluantes sont réalisées avec de la dilution des trois types de pollution désertique sable, tuf et argile avec des concentrations différents, (Figure III.5).



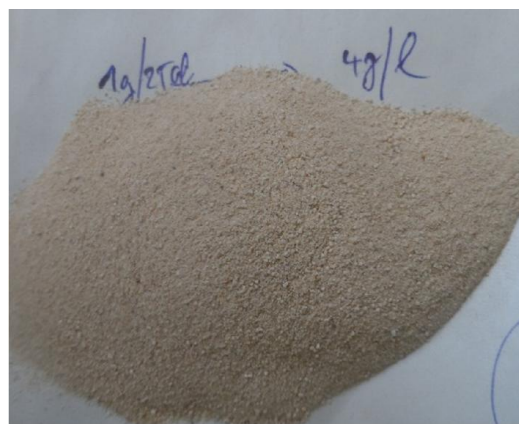
a-Pylône implante dans le sable



b- Echantillon de la pollution en sable



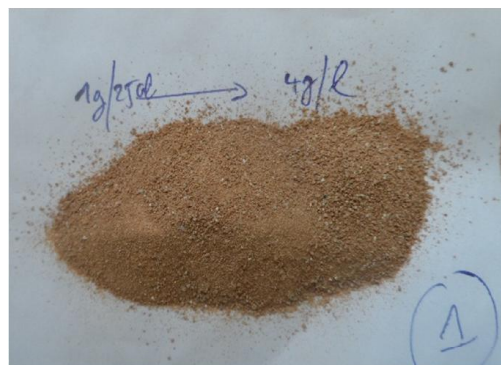
c- Pylône implante près du sol en tuf



d- Echantillon de la pollution en tuf



d- Pylône implante près du sol en l'argile (usine de briquetterie)



e- Echantillon de la pollution en l'argile

Figure III-5 : les sites des lignes aériennes exposées aux différentes sources de pollutions désertiques et leurs échantillons.

3.2 Préparation du modèle

Avant chaque série d'essai, la plaque isolante est bien nettoyée, puis imbibée de gaz oil dans les endroits d'emplacement des électrodes en aluminium, de manière à ce qu'aucun espace d'air ne reste entre la plaque et les électrodes. La plaque est ensuite essuyée avec du coton imbibé d'alcool isopropylique pour éliminer toute trace de gaz oil sur la plaque isolante. Le modèle est disposé horizontalement sur un support isolant.

3.3 Préparation des solutions polluantes :

Les solutions polluantes ont été préparées tantôt au laboratoire. Celles-ci sont composées de différentes quantités de poudre extraite des différents sols situés au près des lignes aériennes par exemples les dunes du sable, usines de briqueterie et le mine du tuf, ces échantillons de pollution sont mélangés à de l'eau distillée, afin d'obtenir plusieurs conductivités volumiques.

Le choix de ces conductivités est fait pour avoir une bonne visibilité concernant l'élongation des décharges parallèles et aussi pour une bonne étude de la tension de contournement pour le cas de la pollution uniforme.

La mesure de la conductivité est effectuée à l'aide d'un conductimètre (figure III.6).



Figure III-6 : conductimètre pour mesurer les différentes conductivités de pollution utilisées aux essais

Ainsi pour les différents types de pollution, on a utilisé trois conductivités différentes pour avoir l'effet de cette pollution au comportement d'isolateur, par la suite on présente les différentes conductivités préparées pour les essais :

3.3.1 Les conductivités de la pollution en sable :

Dans notre zone désertique on a une grande surface en sable qu'en tuf ou en argile pour cela on à boucau intéresser sur la variation de la conductivité du sable, la figure III.7 présente la courbe du variation de conductivité du sable en fonction la concentration du sable dans l'eau distillé.

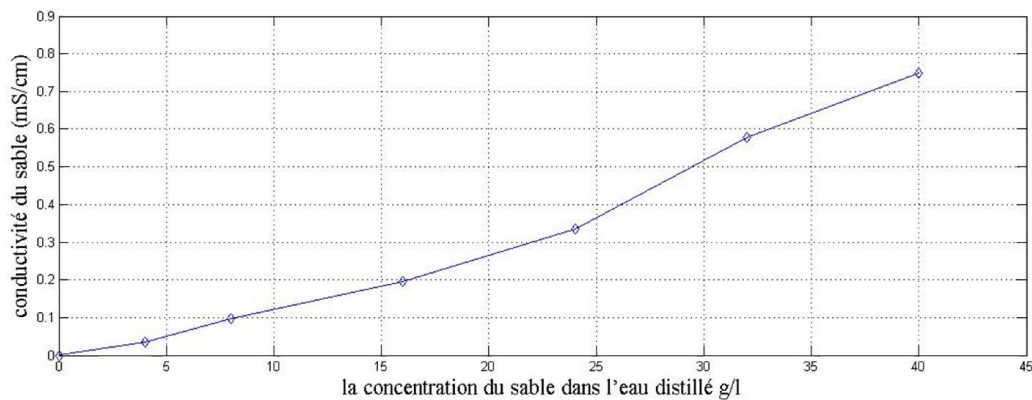


Figure III-7 : variation de conductivité du sable en fonction la concentration du sable dans l'eau distillé

D'après la courbe précédant on observe que la variation de la conductivité est proportionnelle presque ment linéaire

La figure III.8 montre les mesures faites par le conductimètre au laboratoire



Figure III-8 : Mesures des différentes concentrations du sable dans l'eau distillé

3.3.2 Les conductivités de la pollution en tuf :

La courbe suivante (Figure III.9) présente la variation de la conductivité du tuf utilisées par la suite aux essais expérimentale

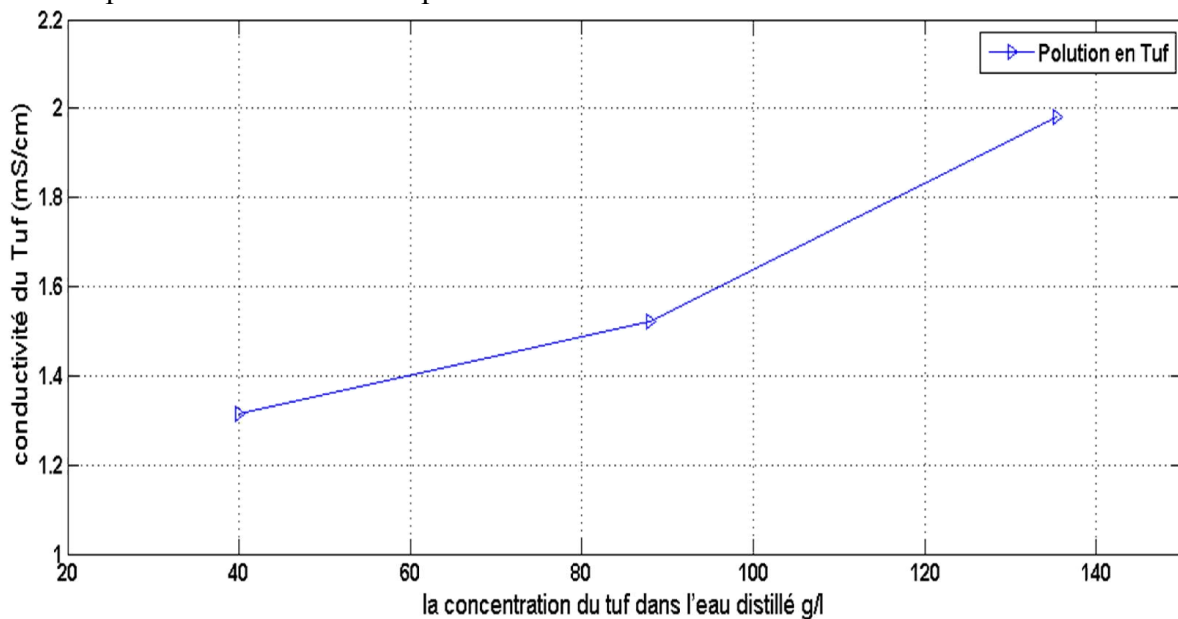


Figure III-9 : variation de conductivité du Tuf en fonction la concentration du Tuf dans l'eau distillé

D'après cette courbe, la variation a une augmentation très importante après la concentration du 85g/l elle atteint une conductivité de 2mS /cm

Les résultats des conductivités de tuf sont mesurés en laboratoire de haute tension d'université d'el oued (figure III.10). Ces échantillons sont pris d'après les carrières du Tuf près des lignes aériennes de haute tension

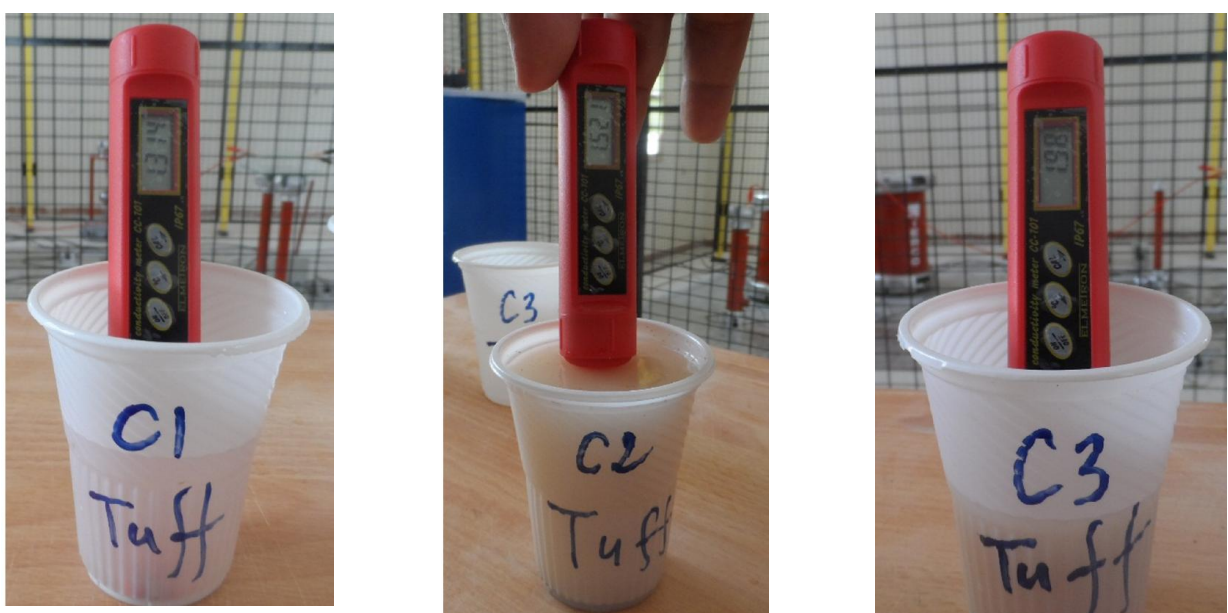


Figure III-10 : mesures des différentes concentrations du Tuf dans l'eau distillé

3.3.3 Les conductivités de la pollution en argile :

Pour mesurer la conductivité de l'argile on a déplacé sur site ou se passe plusieurs problème au niveau des lignes de haute tension ces zones sont près des zones industriels ou il situé les usines de faïence et briquèterie. La figure III.11 montre la courbe de la variation de conductivité d'argile en fonction de la concentration d'argile dans l'eau distillée. La même observation que le tuf pour la conductivité. Pour une concentration de 135g/l d'argile la variation de conductivité atteint une valeur de 1.322mS/cm (Figure III.12).

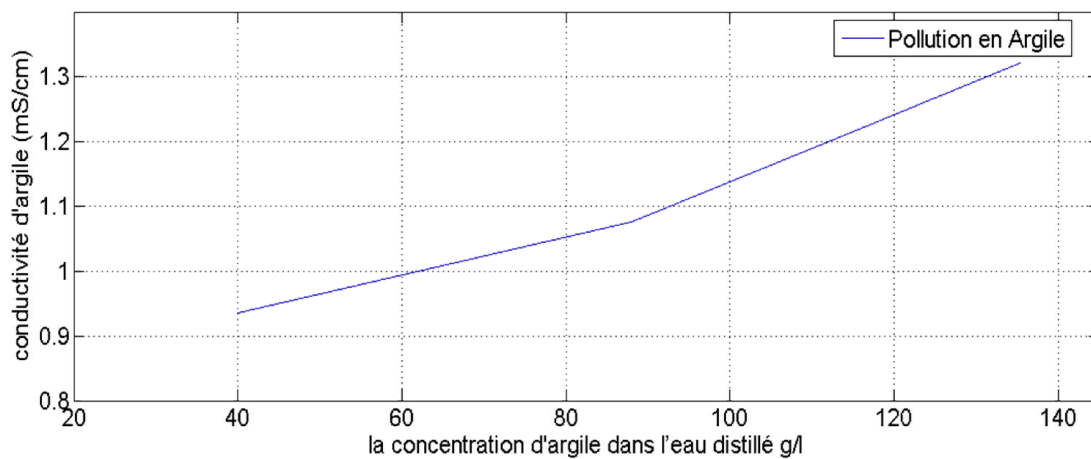


Figure III-11 : variation de conductivité d'argile en fonction la concentration d'argile dans l'eau distillée

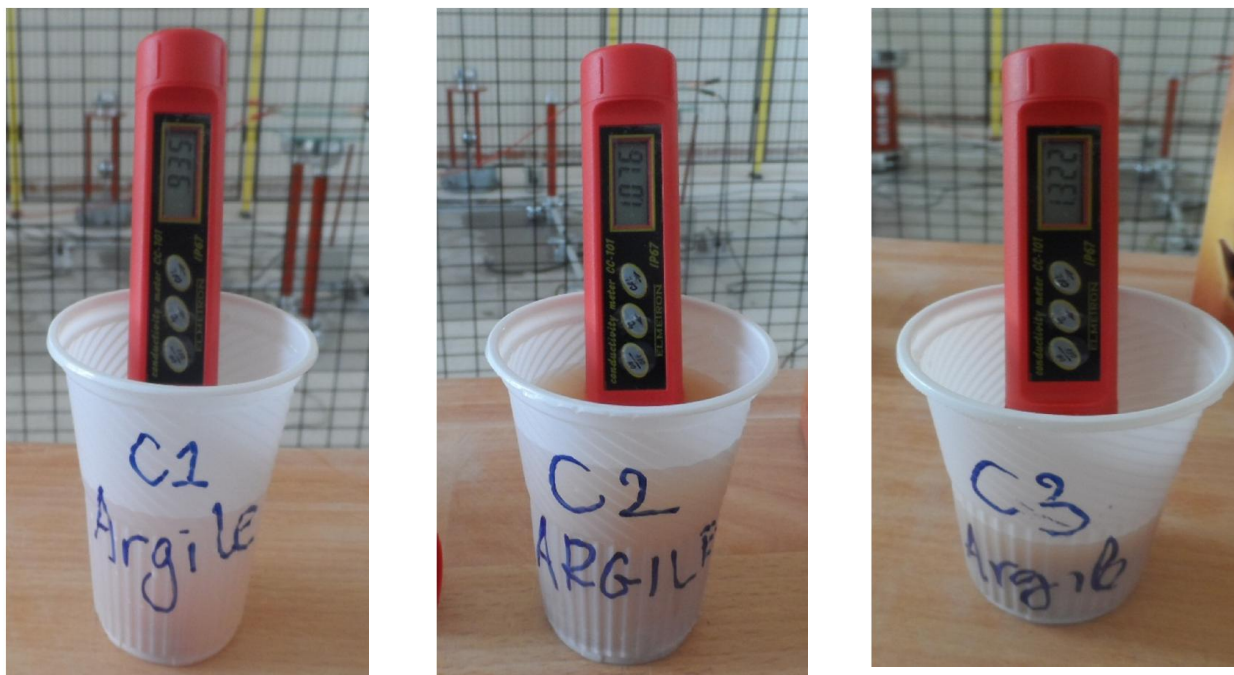


Figure III-12 : mesures des différentes concentrations d'argile dans l'eau distillé

3.4 Méthode de pulvérisation :

La méthode de pulvérisation a été choisie pour la pollution artificielle de la surface du modèle plan pour le cas uniforme. La longueur de fuite $L_f = 20 \text{ cm}$ du modèle est gardée constante pour la pollution uniforme.

Pour cette configuration (pollution uniforme), l'isolateur est humidifié avec une conductivité donnée en gardant une ouverture constante du pulvérisateur.

L'humidification de la surface est obtenue après cinq pulvérisations de chaque côté de l'isolateur (figure III.13) à une distance de 0.5 m qui est gardée constante durant toute l'opération.

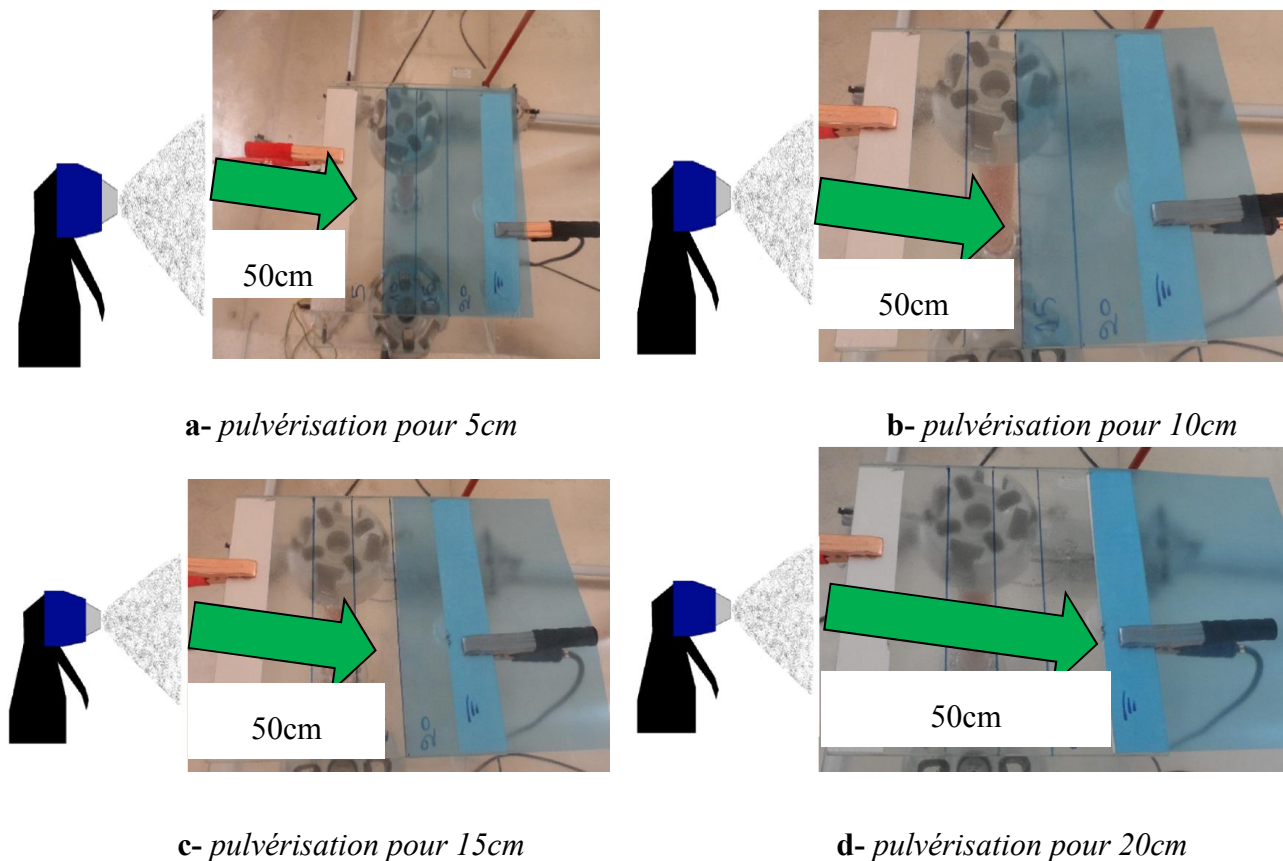


Figure III-13 : Méthode de pulvérisation pour la configuration uniforme

3.5 Application de la couche de pollution

La couche polluante est réalisée par des coupes rectangulaire de dilution de chaque type de pollution à la surface de l'isolateur, en humidifiant les surfaces de l'isolateur avec du gaz oil, chaque fois la couche polluante que nous changeons. Nous appliquons une tension alternative, et mesurons la tension de contournement.

4. Correction atmosphérique

Pour chaque essai que on effectuée on prenant les conditions atmosphériques par un appareil spécial électronique qui est présenter par la figure III.14



Figure III-14 : instrument de mesure pour les conditions atmosphériques (Humidité, température et pression)

4.1 Influence de la densité relative de l'air :

La température et la pression, influent sur la rigidité diélectrique de l'air. Dans la CEI 60 (Commission d'Electrotechnique Internationale), nous trouvons la notion de densité relative qui est définie comme étant le rapport de la densité de l'air dans les conditions de pressions P et de température T , à la densité de l'air dans les conditions atmosphériques de référence dites normales, c'est à dire:

- ❖ Température ambiante $T_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ❖ Pression atmosphérique $P_0 = 1013\text{ mbar}$ ($= 760\text{ mmHg}$)

$$\partial = 0.289 \frac{p}{273 + T} \quad \text{III-1}$$

∂ : facteur de correction de la densité de l'air.

La pression P est en mbar et la température T en $^{\circ}\text{C}$.

Cette équation III.1 est utilisée pour convertir la tension de décharge U mesurée dans les conditions atmosphériques d'essais (température T et pression P) à la valeur U_0 qui aurait été obtenue dans les conditions normales (T_0 et P_0) :

$$U_0 = \frac{U}{(\partial)^n} \quad n \leq 1 \quad \text{III-2}$$

L'exposant n dépend de la forme d'onde, de la longueur d'intervalle et de la position des électrodes.

4.2 Influence de l'humidité

La tension d'amorçage est particulièrement moins sensible à la variation de l'humidité dans le cas des ondes rapides ou très rapides. C'est le cas pour les chocs de foudre. Ainsi, nous ne tiendrons pas compte de ce facteur. Durant nos essais l'humidité relative variait entre 34% et 56%.

5. Procédé d'essais

Les essais que nous avons effectués, nous permettent de faire une analyse de l'évolution de la tension de contournement.

5.1 Mesure de la tension du contournement

Avant chaque essai, nous nettoyons toutes les zones propres avec du coton, imbibé d'alcool isopropylique, pour éliminer les traces partiellement frottées par le passage de l'arc électrique.

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour la tension alternative, en variant la largeur de la couche polluante de 0 (plaque propre) à 100% polluant (plein de pollution). En fait les largeurs de pollution uniforme que nous avons adoptées sont les suivantes 0cm, 5cm, 10cm, 15cm et 20cm (figure III.15).

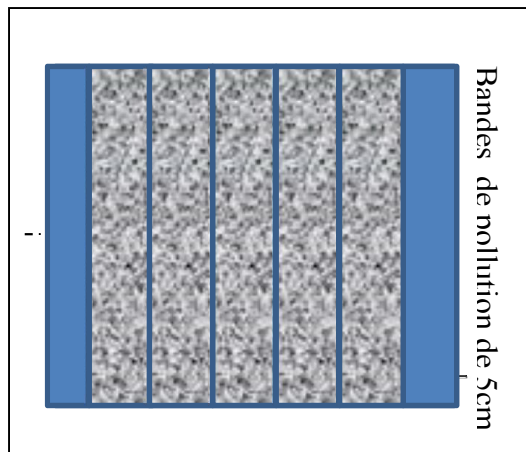


Figure III-16 : les bandes de la pollution continue.



Figure III-15 : Contournement d'un modèle d'isolateur sous pollution

Note :

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour chaque configuration. Au moins cinq valeurs ont été relevées à l'aide d'un voltmètre.

6. Etude de la tension de contournement :

La tension de contournement est un paramètre essentiel pour l'isolateur car il permet d'identifier le système formé par les électrodes (pointe-pointe, plan-plan,.....) et donc de définir la rigidité diélectrique du système ainsi formé par les électrodes. Dans notre cas, la mesure de la tension de contournement a pour objectif la protection des appareillages de mesure, en particulier l'oscilloscope car la mesure du courant de fuite ne doit pas se faire à plus de 50% de la tension de contournement.

6.1 Identification du système d'électrodes formé par le modèle plan :

Afin d'identifier le système d'électrodes formé par notre modèle plan de l'isolateur, nous avons procédé à des essais de contournement pour la distance inter-électrode $d=20$ cm

qui correspond à la distance de contournement à sec et $d_2 = 21$ cm qui correspond à la distance de fuite sous des conditions de pollution par humidification.

		Tension (kV_{eff})
Distance inter électrode	d_1	88,5
	d_2	97,7

Tableau III-1 : Essai de contournement pour modèle plan en état sec et humide.

Le système d'électrode pointe-pointe est celui qui semble s'approcher le plus du modèle plan étudié. L'expression de la tension de contournement pour un système d'électrodes pointe-pointe est :

$$U_c = 3,16 d + 14 \quad [kV_{eff}] \quad \text{III-3}$$

d: distance inter-électrode

Nous trouvons d'après la formule (III.2) que la tension de contournement est de **77. 2 kV_{eff}** pour d_1 et de **80,36 kV_{eff}** pour d_2 . Ces valeurs sont relativement proches des résultats obtenus expérimentalement.

6.2 Tension de contournement :

6.2.1 Cas de pollution en sable :

Dans cette partie nous analysons l'influence de la conductivité du sable sur la tension de contournement du modèle plan. Les résultats d'essai pour les différentes largeurs de pollution en sable avec plusieurs conductivités sont montrés par suivant.

a- Largeur de pollution L=5cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du sable	750 ($\mu S/cm$)	76.72
	1.254 (mS/cm)	62.7
	1.597 (mS/cm)	58.28

Tableau III-2: Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=5cm.**Figure III-17 :** les mesures pris pour la tension de contournement pour L=5cm**b- Largeur de pollution L=10cm**

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du sable	750 ($\mu S/cm$)	76.17
	1.254 (mS/cm)	48.13
	1.597 (mS/cm)	45.62

Tableau III-3 : Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=10cm.



Figure III-18 : les mesures pris pour la tension de contournement pour L=10cm

c- Largeur de pollution L=15cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du sable	750 ($\mu S/cm$)	55.01
	1.254 (mS/cm)	26.67
	1.597 (mS/cm)	23.74

Tableau III-4 : Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=15cm.



Figure III-19 : les mesures pris pour la tension de contournement pour L=15cm

d- Largeur de pollution L=20cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du sable	750 ($\mu S/cm$)	27.17
	1.254 (mS/cm)	18.56
	1.597 (mS/cm)	11.39

Tableau III-5 : Essais de contournement pour différentes conductivités du sable L=20cm.**Figure III-20 :** les mesures pris pour la tension de contournement pour L=20cm**A. L'effet de la conductivité de pollution en sable :**

Pour cette raison on a tracé la courbe de la variation de la tension de contournement en fonction de la conductivité du sable pour plusieurs largeurs de pollution entre les deux électrodes (figure III.21).

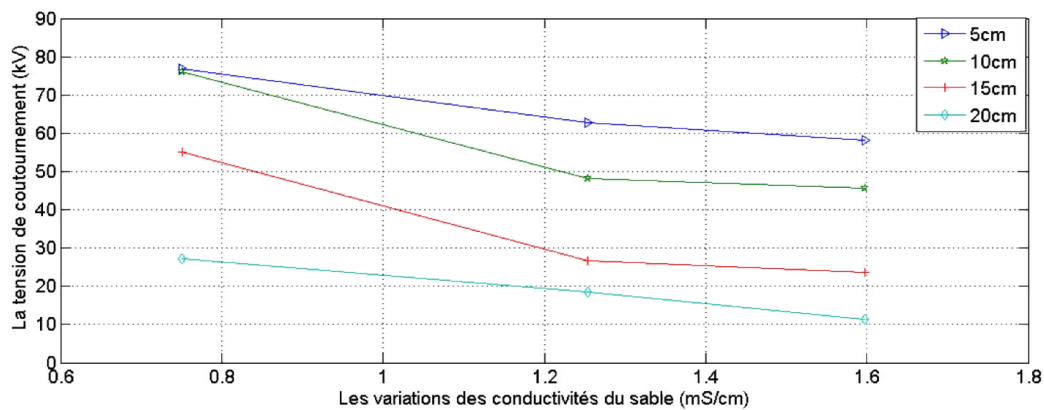


Figure III-21 : la tension de contournement en fonction de la variation de la conductivité du sable

D'après cette courbe on n'observe que la variation de la tension de contournement démunie avec l'augmentation du la conductivité du sable ainsi avec la largeur de pollution, cette variation presque ment linéaire.

B. l'effet de la largeur de pollution en sable :

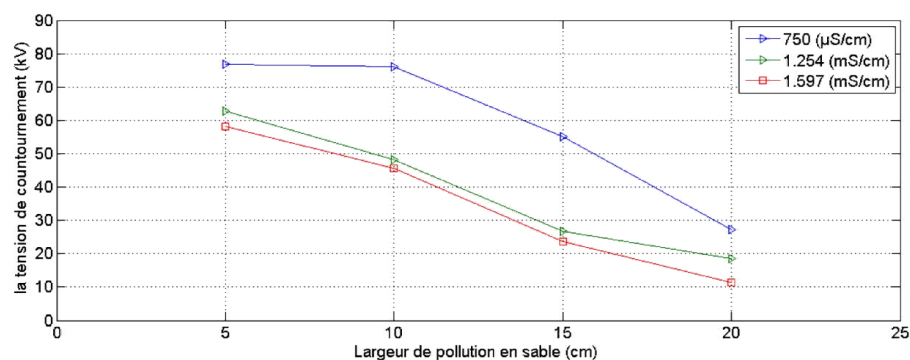


Figure III-22 : la tension de contournement en fonction de la variation de la largeur de pollution du sable

Cette courbe montre que l'effet de la largeur de pollution en sable est non sensible pour les petites largeurs 5 cm, la tension presque même pour les différentes conductivités, mais le différence est bien visible entre ces conductivités pour les largeurs supérieurs au 10 cm ou la tension de contournement diminue plus vite.

6.2.2 Cas de pollution en Tuf :

Nous analysons par la suite l'effet de la conductivité du Tuf sur la tension de contournement du modèle plan.

a- Largeur de pollution L=5cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du Tuf	1.314 (mS/cm)	68.34
	1.521 (mS/cm)	64.26
	1.98 (mS/cm)	63.44

Tableau III-6 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=5cm.

b- Largeur de pollution L=10cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du Tuf	1.314 (mS/cm)	44.16
	1.521 (mS/cm)	43.35
	1.98 (mS/cm)	43.12

Tableau III-7 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=10cm.

c- Largeur de pollution L=15cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du Tuf	1.314 (mS/cm)	17.26
	1.521 (mS/cm)	24.55
	1.98 (mS/cm)	20.46

Tableau III-8 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=15cm.**d- Largeur de pollution L=20cm**

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du Tuf	1.314 (mS/cm)	17.26
	1.521 (mS/cm)	13.29
	1.98 (mS/cm)	10.83

Tableau III-9 : Essais de contournement pour différentes conductivités du Tuf L=20cm.

A. L'effet de la conductivité de pollution en Tuf :

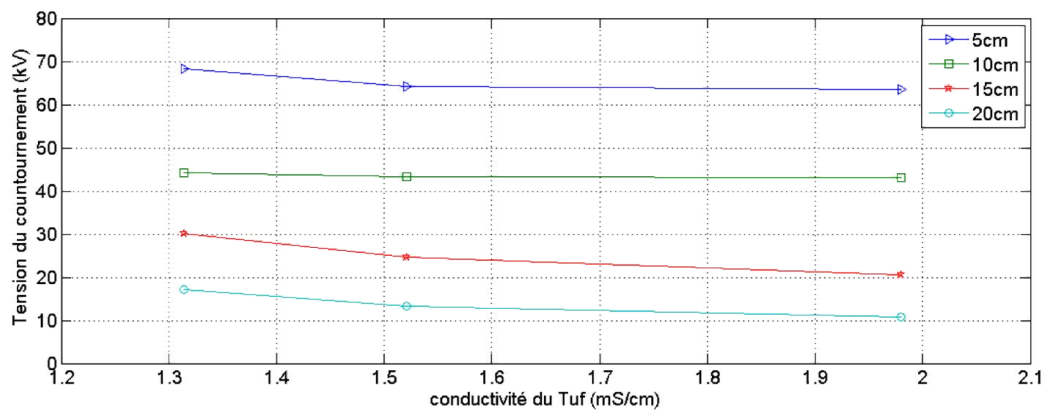


Figure III-23 : la tension de contournement en fonction de la variation de la conductivité du Tuf

Cette courbe (figure III.23) présente la variation de la tension du contournement en fonction de la conductivité en cas de pollution en Tuf. D'après ce dernier la conductivité du Tuf n'a aucun effet sur le contournement d'isolateur.

B. L'effet de largeur de pollution en Tuf :

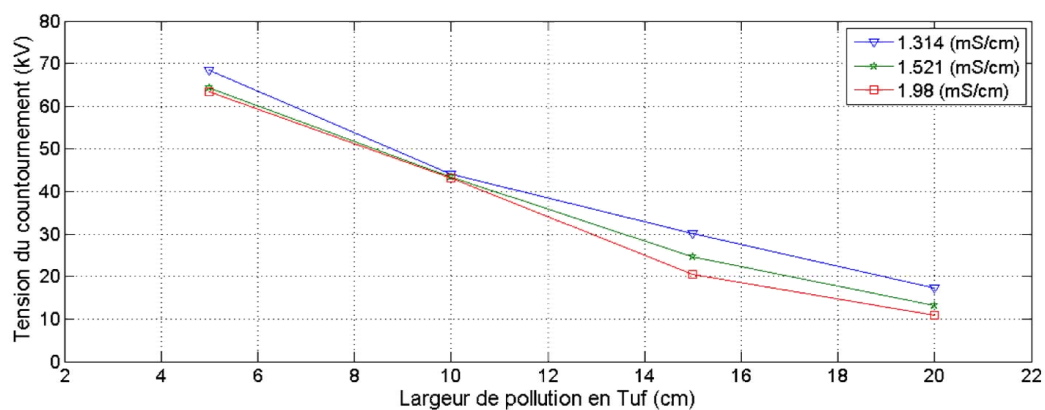


Figure III-24 : la tension de contournement en fonction de la variation de la largeur de pollution du Tuf

Même remarque pour la courbe précédente, la variation de la tension de contournement démontre linéairement avec l'augmentation de la largeur en tuf de 70kV au 10kV, mais presque ment ses sont les mêmes valeurs pour tous les conductivités

6.2.3 Cas de pollution en Argile :

Dans le travail qui suit nous présentons l'effet de la conductivité de l'argile sur la tension de contournement du modèle plan.

a- Largeur de pollution L=5cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du L'argile	0.935 (mS/cm)	72.15
	1.076 (mS/cm)	65.35
	1.322 (mS/cm)	59.62

Tableau III-10 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=5cm.

b- Largeur de pollution L=10cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du L'argile	0.935 (mS/cm)	49.04
	1.076 (mS/cm)	45.35
	1.322 (mS/cm)	43

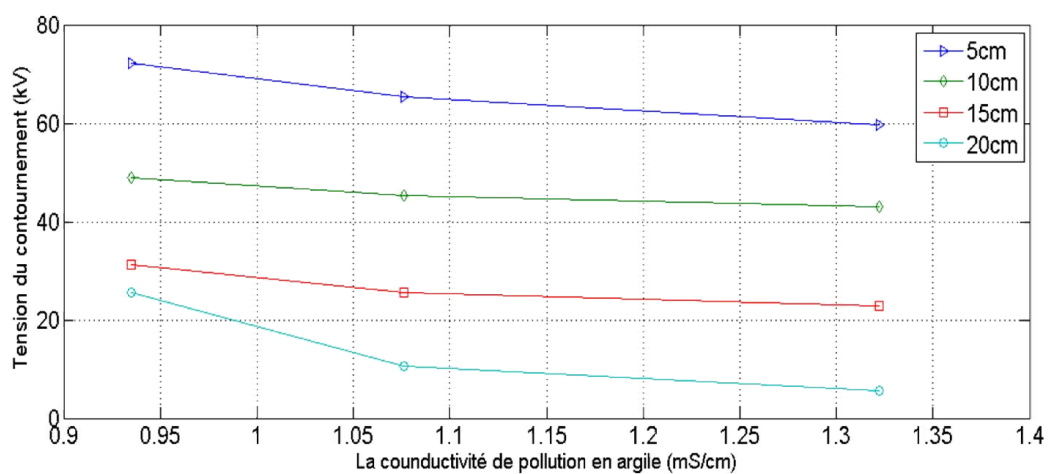
Tableau III-11 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=10cm.

c- Largeur de pollution L=15cm

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du L'argile	0.935 (mS/cm)	31.34
	1.076 (mS/cm)	25.05
	1.322 (mS/cm)	22.81

Tableau III-12 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=15cm.**d- Largeur de pollution L=20cm**

Essai		Tension (kV_{eff})
Conductivité du L'argile	0.935 (mS/cm)	25.53
	1.076 (mS/cm)	10.46
	1.322 (mS/cm)	5.66

Tableau III-13 : Essais de contournement pour différentes conductivités du l'argile L=20cm.**A. l'effet de la conductivité de pollution en argile :****Figure III-25 :** la tension de contournement en fonction de la variation de la conductivité du l'argile

Depuis la courbe en (figure III.25), la variation de la tension du contournement en fonction de la conductivité en cas de pollution en argile diminue légèrement avec l'augmentation de la conductivité. Mais le cas en pleine pollution en 20cm cette tension démunie brusquement après 5cm de pollution pour 25kV au 5kV.

B. L'effet de largeur de pollution en argile :

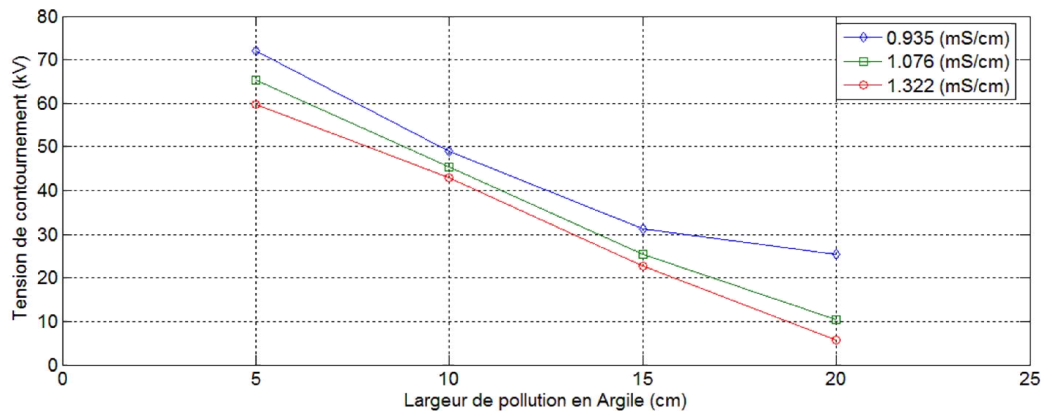


Figure III-26 : la tension de contournement en fonction de la variation de la largeur de pollution du l'argile

La courbe en figure III.26 présente une diminution très importante de la tension avec l'augmentation de la largeur de pollution jusqu'à la pleine pollution (20 cm) ou la tension sera 5kV pour la grande conductivité 1.322mS/cm.

6.3 Comparaison entre les différentes pollutions désertiques en point de vue de la Tension de contournement :

6.3.1 L'effet de la concentration de la pollution a la conductivité électrique :

Pour cela on a tracé la courbe de la variation de conductivité en fonction la concentration de la pollution en gramme mélangée en litre d'eau (figure III.27), d'après cette courbe on conclut que le tuf qui a une importante conductivité que les autres pollutions. Alors on peut dire que le tuf est plus dangereux dans notre zone désertique

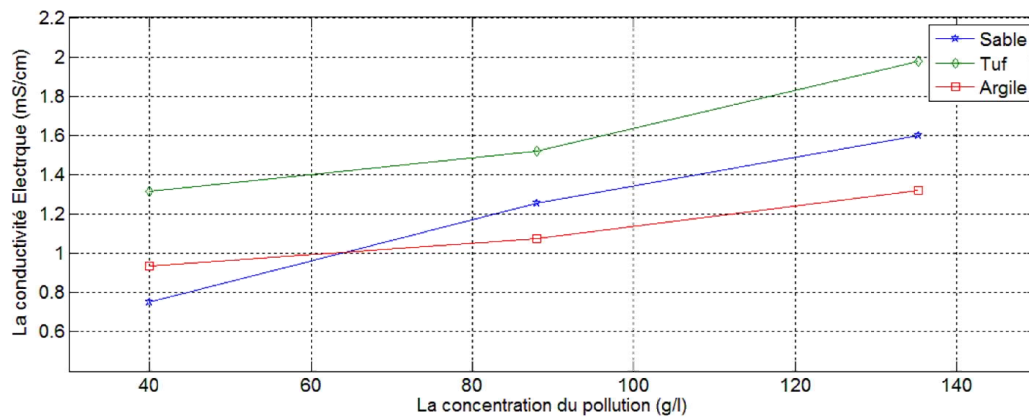


Figure III-27 : la variation de la conductivité de pollution en fonction la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile

6.3.2 L'effet de la concentration de la pollution a la tension de contournement :

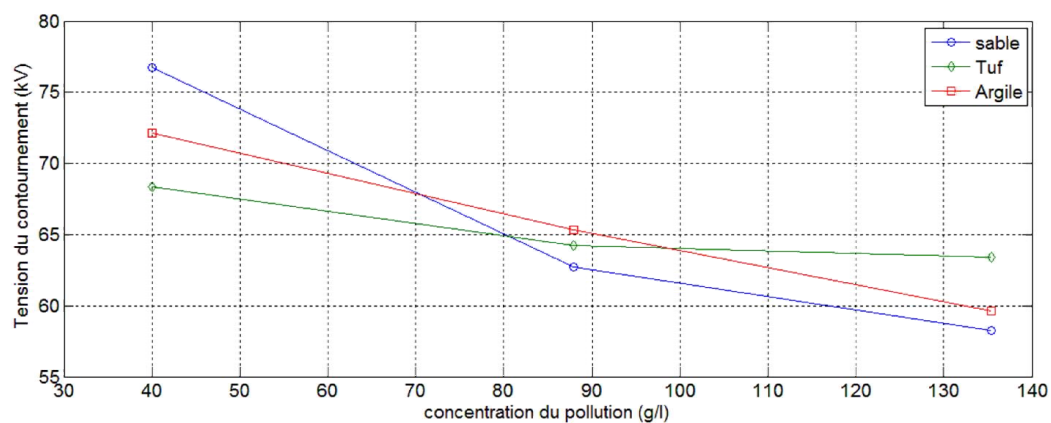


Figure III-28 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour $L=5\text{cm}$

La variation de la tension de contournement en cas de la largeur de pollution $L=5\text{cm}$ (Figure III.28) montre que l'effet du sable est très important en cas de l'augmentation de la concentration depuis 85g/l , par contre dans ce cas le tuf reste pour cette largeur n'a aucun effet important a la tension de contournement.

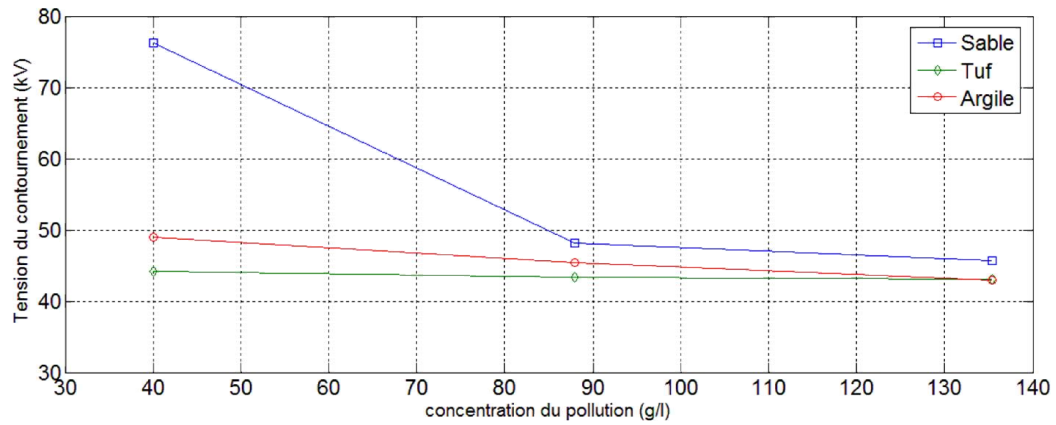


Figure III-29 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour L=10cm

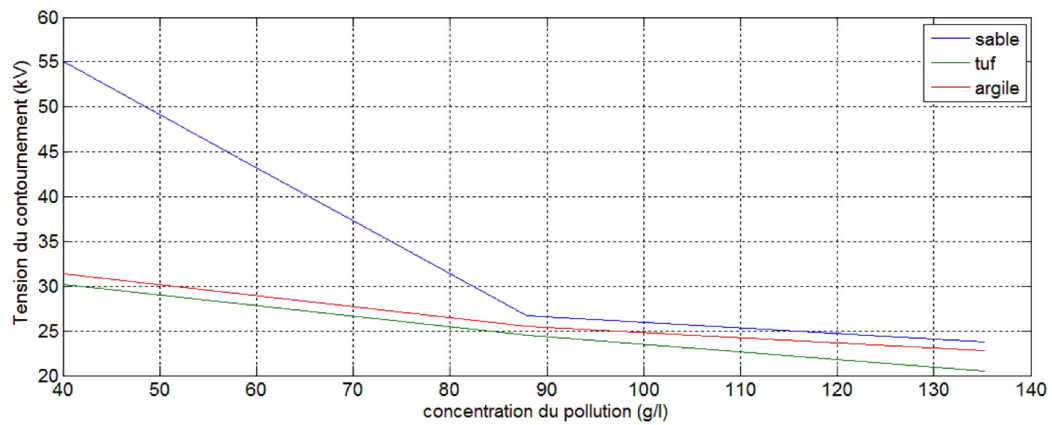


Figure III-30 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour L=15cm

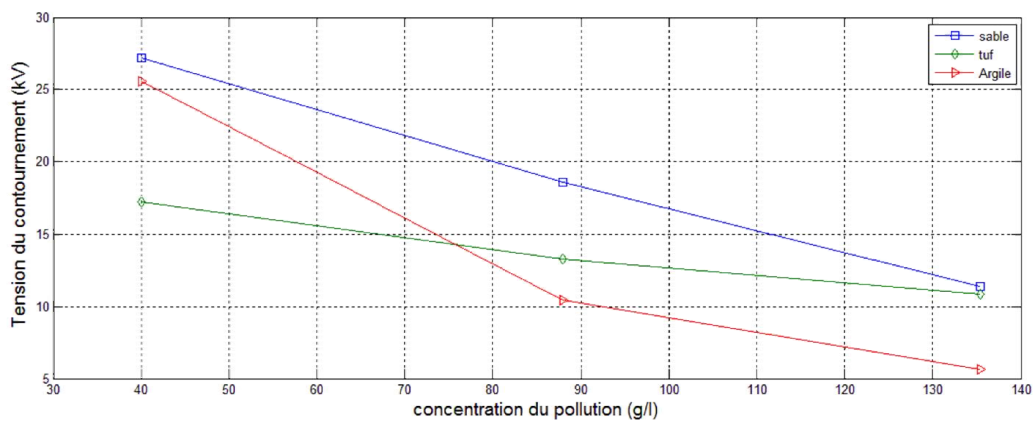


Figure III-31 : la variation de la tension de contournement en fonction de la concentration de la pollution en sable, Tuf et argile pour L=20cm

Pour les cas du 10cm et 15cm de pollution sur le surface d'isolateur (Figure III.28-29) il est bien claire que l'effet de la pollution en tuf reste le plus intéressant pour la tension du contournement, aussi la diminution brusque de la tension dans ce cas avec l'augmentation de la concentration du sable.

En dernier cas ou la largeur atteint la valeur en plein pollution $L=20\text{cm}$ (figure III.30) on observe que l'argile est très dangereux en cas plein pollution que les autres pollutions sable ou Tuf. Cette remarque sera assurée pour les valeurs de concentration plus que 80g/l.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons cité les dispositifs expérimentaux, (circuit d'essai, etc), nous avons présenté le modèle opératoire utilisé au labo, ainsi que le mode expérimental et préparation du modèle pour chaque essai.

Aussi nous avons présenté les différentes sources de pollution désertiques situe dans notre zone, telle que le sable, Tuf et l'argile. Apres ce dernier nous avons donné les procédures d'essai pour mesurer la tension de contournement

Ensuite nous avons appliqué ces pollutions pour des différentes concentrations et conductivité à notre modèle de laboratoire qui est en forme rectangulaire, ces essais nous définirons le comportement d'isolateur de haute tension dans cette région désertique.

Finalement nous présentons les résultats expérimentaux obtenus et les interprétations. On a conculs d'après ces résultats que tous les pollutions ont leurs degré de conséquences ou le contournement se passe, généralement la tension pour tous les types de pollution diminue avec l'augmentation de la zone polluée cette variation est légèrement, par contre la largeur de pollution de chaque a un grand effet sur la tension du contournement par ce que cette variation est brusquement, l'isolateur pour les grands largeurs est non plus rigide

D'après les résultats obtenu, on peut dire que la pollution en tuf est plus dangereux para port aux conditions moyennes telles-que la concentration des différentes types de pollution et leur distribution superficielle sur le surface d'isolateur (largeur de pollution).

Conclusion générale

Dans le cadre de notre étude, les essais effectués au Laboratoire de Haute tension de l'université d'el oued, avaient pour objectif d'étudier le comportement d'un modèle d'isolateur artificiellement pollué, lorsqu'une tension alternative lui est appliquée.

Pour cela, des solutions chimiques salines (à base de pollution en sable, tif, argile et de l'eau distillée) des conductivités différentes ont été utilisées. En outre, une répartition continue (modèle expérimental) de la pollution a été considérée.

Lors des essais expérimentaux, nous avons suivi les variations de la tension de contournement, en fonction de la conductivité et de la largeur de la pollution sur la surface de l'isolateur.

Nous avons conclu que la tension de contournement, changent en fonction de la conductivité et la largeur de la couche polluante. En effet, la tension de contournement diminue avec l'augmentation de la conductivité volumique de la pollution (modèle expérimental). Par voie de conséquence, l'isolateur est moins rigide lorsqu'il est appliqué une couche polluante. Il est évident que la tension de contournement est affectée par l'état de surface de l'isolateur. La tension de contournement est plus importante dans le cas de l'état sec que dans le cas pollué.

Nous constatons également qu'à partir d'un certain niveau de tension, toute augmentation de celle-ci est accompagnée par un bruit qui croît de manière conséquente jusqu'au contournement de l'isolateur. Ce bruit est généralement attribué à l'effet de couronne qui est une phase initiale du contournement. Nous avons aussi constaté une évaporation progressive de la couche de pollution, qui augmente proportionnellement avec la conductivité. Cette évaporation peut être expliquée par l'augmentation de la densité de courant à la surface du plan proportionnellement à la conductivité générant un dégagement de chaleur important par effet joule. Enfin, un des phénomènes remarquables sur la surface du modèle est l'apparition de décharges parallèles ainsi que d'arcs à cause de l'assèchement de certaines zones du plan. Ces décharges sont dues à l'augmentation du champ électrique qui atteint la valeur critique dans les contours secs et court-circuite les micro-capacités formées par ces zones sèches.

Nous remarquons que la tension de contournement varie de manière linéaire et inversement proportionnelle en fonction de la largeur de la couche polluée sur la longueur de

fuite totale. Nous constatons également que les tensions de contournement pour le cas moyenne pollution en tuf sont légèrement plus élevées que celles du sable et en argile qui correspondent aux couches 10 et 15 cm. Ceci signifie que le modèle plan étudié est un peu plus rigide dans le cas de la pollution en tuf. L'écart entre les tensions de contournement pour la pollution en tuf et le sable est de 44,8% pour 40g/l et 10cm de largeur, aussi de 45.45% pour 15 cm par rapport à la tension de contournement du sable.

En fonction de la largeur et la conductivité de la pollution, la plus basse tension de contournement a été obtenue pour le cas de pleine pollution en argile et de conductivité 1.322mS/cm 5.66kV. La tension de contournement pour les largeurs moyennes de pollution 10 et 15cm est plus faible en cas de la pollution en tuf (24.55 kV pour les concentrations moyennes 87.86g/l et 20.46 kV pour les concentrations maximales 135.4g/l).

Dans notre travail, concernant l'étude du comportement du modèle plan dans des conditions de pollution différentes, la tension de contournement diminue dans le cas de la pollution uniforme, soit de la conductivité de la surface polluée, soit avec l'augmentation de la largeur de la couche polluée. Le cas de la pollution de la couche en sable en point de vue de concentration g/l présente une rigidité diélectrique plus importante que le cas où la couche polluée est du Tuf ou argile car l'effet de conduction est moins important que ces deux cas qui peuvent être similaire à la présence de barrières isolante qui remplacent les intervalles d'air couche polluée-électrode. Les décharges parallèles à la surface de l'isolateur se forment lorsque 85,6% de la distance inter-électrode est polluée, ce qui correspond à la plus petite tension de contournement pour les trois cas de la pollution.

L'étude des décharges parallèles pour les trois type de pollution et pour les faibles conductivités (750 μ S/cm et 935 μ S/cm) en plein pollution montre que leur nombre augmente avec la tension appliquée et diminue par la suite laissant une seule décharge progresser, causant le contournement. Pour les grandes conductivités (1,3 mS/cm et 1,9 mS/cm) les décharges parallèles sont présentes même au contournement et progressent plus facilement sur la surface de l'isolateur avec l'apparition d'arcs sur toute la surface polluée, car l'impédance du milieu est à sa plus faible valeur. Pour les faibles largeurs de la couche polluées, le contournement a lieu directement sans la formation de décharges, car la valeur du champ électrique dans les intervalles d'air reste trop faible pour l'amorçage d'un arc électrique.

Cependant notre modèle en plan facilite, les observations et les mesures nécessaires pour une bonne analyse des phénomènes physiques de contournement.

Bibliographie

- [ARR99] **L.ARRABIY**, " Visualisation et Traitement de Signal de Courant de Fuite sur une Surface Isolante Polluée ", PFE, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.), 1999.
- [BOU 78] **A. BOUBAKEUR**, « Essais d'isolateurs pollués dans les conditions naturelles », rapport interne, I. W. N, politeknika WARSZAWKA, Varsovie 1978.
- [CEI 73] **CEI 60**, « Technique des essais à M.T, définitions et prescriptions générales aux essais », Première édition 1973.
- [CHO83] **L. CHOUGUI, R. BELAICHA**, " Contribution à l'Etude de la Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région d'Arzew ", PFE, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.), Janvier 1983.
- [CIG 79] **CIGRE**, groupe de travail du comité d'étude, N°33, « Mesure de la sévérité de pollution des sites et application au dimensionnement des isolateurs pour les réseaux à courant alternatif », ELECTRA, N° 64, mai 1979.
- [CIM 78] **A. CIMADOR, M. COJAN, P. HAUTEFEUILLE et M. MOREAU**, « Méthodes de dimensionnement des isolateurs de Lignes Aériennes en régions polluées », CIGRE, Rapport 33-04, Paris, France, 1978.
- [CIM 90] **A. CIMADOR, S. VITET**, « La pollution des isolateurs », EDF-Epure, N°. 27, Juillet 1990.
- [CLA 73] **P.CLAVERIE, Y.PORCHERON**, « Les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en régions polluées », RGE, Tome 82, No. 3, pp. 166-194, Paris, France, Mars 1973.
- [DAN 83] **J. Danis**, "A Stochastic Pollution Flashover Model", 4th International Symposium on High Voltage Engineering, Rapport 46 - 12, Septembre 5 – 9, 1983, Athènes, Grèce.

- [ELK 70] **M. A. B. EL Koshairy, F. A. M. Rizk**, "Comportement des Isolateurs des Lignes de Transport à Très Haute Tension dans les Conditions de Pollution Désertiques", CIGRE, Rapport 33 - 05, Paris, 1970.
- [HEI 82] **W. HEISE, G.F, LUXA, G.REVRERY et M. P. VERMA**, « Estimation de la méthode d'essais sous pollution artificielle par couche solide », CIGRE, Rapport 33-09, Paris. France, 1982.
- [LAM 72] **P. J. LAMBETH, H. AUXEL et M. P. VERMA**, « Méthode de mesure de la sévérité de la pollution compte tenu de son influence sur le comportement des isolateurs à haute tension », Electra N°. 20, pp 95-100, Janvier 1972.
- [LAM 78] **C. H. A. ELY, P. J. LAMBETH, J. S. T. LOOMS et D. A. SWIFT, C.E.G.B** « Contournement des polymères humides et pollués l'ailette BOOSTER », CIGRE, Rapport 15 - 02, Paris, France, 1978.
- [MEK 99] **A. MEKHALDI**, « Etude des phénomènes de conduction et de décharges électriques sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz », Thèses de Doctorat, ENP, Département de Génie Electrique, Laboratoire de haute tension, Septembre 1999.
- [MEZ 02] **A. MEZIANE, Y THAMINY**, «Modélisation dynamique du phénomène de contournement des isolateurs pollués sous tension continue ». Projet de fin d'étude, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, 2002.
- [NAM 98] **D. NAMANE**, « Effet de la discontinuité de la couche de pollution sur le comportement d'isolateur de haute tension, sous la fréquence 50Hz », Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Algérie, Algérie, Février 1998
- [NEU59] **G. NEUMÄRKER**, « Verschmutzungszustand und Kriechweg », Monatsber. d. Deut. Akad, Wiss., Berlin, vol.1, pp.352 – 359, 1959.
- [OBE 58] **F. Obenaus**, "Fremdschichtüberschlag und Kriechweglänge", Deutsche Elektrotechnik, vol. 4, pp. 135 – 136, 1958.

- [STR 83] **H. STREUBEL**, « The influence of non-uniform contamination on the flashover voltage of insulators » 4th International Symposium on High Voltage Engineering, Rapport 46-10, Athens, Greece, 5-9 September 1983
- [TEG 02] **M.Teguar, A.Mekhaldi, A.Boubakeur**, “Algorithm for HV Insulator Flashover under Discontinuous Pollution “, Archives of Electrical Engineering, Vol. LI, No. 2, pp. 119-136, 2002.
- [TEG 93] **M. TEGUAR**, « Etude mathématique des mécanismes de développement des décharges électriques sur des isolateurs installés en régions polluées », Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d’Alger, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Algérie, Algérie, Juillet 1993.
- [TEG] **M.TEGUAR, A.BOUBAKEUR**, "*Pollution des Isolateurs de Haute Tension*", Laboratoire de Haute Tension, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d’Alger (E.N.P.).
- [TER05] **M. TERKMANI, M.BABOUAMER**, " Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension ", PFE, USTO, juin 2005.
- [Zha 99] **H. Zhang, R. Hackam**, "Electrical Surface Resistance, Hydrophobicity and Diffusion Phenomena in PVC", IEEE Trans. on Elect. Insul, Vol. 6, N°. 1, pp. 73 - 83, February 1999.