

M/621.829

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



**Domaine : Sciences et Technologie**  
**Filière : Génie Electrique**  
**Spécialité : Protection et Contrôle  
des Réseaux électriques**

**Mémoire de fin d'études  
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

---

**Contournement des isolateurs des lignes aériennes Haute  
Tension**

---

Présenté par :

**AZIZI Mohammed Ali, HAOU Lyes**

Sous la direction de :

**Dr. REMADNIA M.**

Mai 2014



**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Génie Electrique**

**Spécialité : Protection et Contrôle  
des Réseaux électriques**



**Mémoire de fin d'études  
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

---

**Contournement des isolateurs des lignes aériennes Haute  
Tension**

---

Présenté par :

**AZIZI Mohammed Ali, HAOU Lyes**

Sous la direction de :

**Dr. REMADNIA M.**

Mai 2014

## Remerciements

*Au terme de ce mémoire de fin d'études de Master, nous tenons à formuler nos chaleureux remerciements à notre encadreur « Dr. REMADNIA . M » pour ses efforts considérables.*

*Aussi nous remercions le directeur de laboratoire de Génie Electrique de Guelma « Dr. LEMZADMI . A » qui nous a permis de réaliser nos expériences dans le laboratoire .*

*Ainsi que toutes les enseignants et les administrateurs du Département de Génie Electrotechnique et Automatique.*

*Sans oublier de remercier nos familles et nos amis et tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce modeste travail.*

## بطاقة شكر

في مثل هاته اللحظات يتوقف الذراع ليفكر قبل ان يخط الحروفه ليجمعها  
في كلمات تتبعثر الاحرفه وبعثنا ان يحاول تجميعها في سطور .

سطورا كثيرة تمر في الخيال ولا يبقى لنا في نهاية المطاف الا قليلا من  
الذكريات وصور تجمعنا برفاق كانوا الى جانبنا

فواجب علينا شكرهم ووداعهم ونحن نخط خطواتنا الاولى في غمار الحياة  
, ونخص بجزيل الشكر و العرفان الى كل من اشعل شمعة في دروب عملنا  
و الى من وقف على المنابر و اعطى من حصيلة فكره لينير دربنا

الى الاساتذة الكرام في كلية العلوم وعلوم الهندسة وبالخاص اساتذة قسم  
الالكترونيك و الأوتوماتيك ونتوجه باسمى عبارات الشكر الجزيل الى :

الدكتور : رماضية مقداد

الذي تفضل بالإشراف على هذا العمل , فجزاه الله عنا كل خير وله منا كل  
التقدير و الاحترام

كما لا ننسى ان نتوجه بالشكر الى مدير مخبر الهندسة الكهربائية لقائمة :

الدكتور : لمزاحمي احسن

الذي تفضل علينا بالموافقة و المساعدة على العمل في المخبر

نشكر الله عز وجل ثم كل من ساهم في انجاح عملنا سواء من بعيد او من  
قريب , الى الزملاء , الاهل , و الاصدقاء شكرا لكم جميعا

# SOMMAIRE

## CHAPITRE I: ISOLATEURS DE HAUTE TENSION

|  |    |
|--|----|
| Introduction                                       | 3  |
| I.1. Définitions                                   | 5  |
| I.2. Les isolateurs                                | 5  |
| I.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur | 6  |
| I.4. Types d'isolations                            | 7  |
| I.4.1. Isolateurs de type rigide                   | 7  |
| I.4.2. Isolateurs à capot et tige                  | 8  |
| I.4.3. Isolateur à long fût en porcelaine          | 10 |
| I.4.4. Chaînes d'isolateurs                        | 11 |
| I.5. Matériaux utilisés                            | 12 |
| I.6. Conclusion                                    | 14 |

## CHAPITRE II: POLLUTION DES ISOLATEURS

|   |    |
|---|----|
| II.1. Introduction                                    | 17 |
| II.2. Sources et types de pollution                   | 17 |
| II.2.1. Pollution naturelle                           | 17 |
| II.2.1.1. Pollution marine                            | 18 |
| II.2.1.2. Pollution désertique                        | 18 |
| II.2.2. Pollution industrielle                        | 18 |
| II.2.3. Pollution mixte                               | 18 |
| II.2.3.1. Cimenteries                                 | 19 |
| II.2.3.2. Carrières et extraction de sable            | 19 |
| II.2.3.3. Unités de plâtre et de chaux                | 19 |
| II.2.3.4. Centrales de production électrique          | 19 |
| II.3. Mesure de la sévérité de la pollution des sites | 20 |
| II.4. Comportement des isolateurs sous pollution      | 21 |
| II.5. Conclusion                                      | 22 |

## CHAPITRE III: PHENOMENE DE CONTOURNEMENT

|   |    |
|---|----|
| III.1. Introduction                           | 24 |
| III.2. Phénomène de contournement             | 25 |
| III.2.1. Déroulement du contournement         | 26 |
| III.2.2. Contrainte de contournement          | 28 |
| III.2.3. Tension de contournement             | 28 |
| III.2.4. Tension de tenue                     | 28 |
| III.2.5. Courant de fuite                     | 28 |
| III.2.6. Courant de fuite critique            | 29 |
| III.2.7. Longueur critique d'arc              | 29 |
| III.2.8. Conductance superficielle            | 29 |
| III.3. Technique de lutte contre la pollution | 29 |
| III.3.1. Allongement de la ligne de fuite     | 30 |
| III.3.2. Graissage                            | 30 |
| III.3.3. Lavage périodique                    | 30 |
| III.3.4. Anneaux de garde                     | 31 |

## CHAPITRE IV: PARTIE EXPERIMENTALE

|   |    |
|---|----|
| IV.1. Introduction                            | 33 |
| IV.2. Méthodes d'essais sous pollution        | 33 |
| IV.2.1. Essai sous pollution naturelle        | 33 |
| IV.2.2. Essais sous pollution artificielle    | 33 |
| IV.2.2.1. Méthode des couches solides         | 34 |
| IV.2.2.2. Méthode du brouillard salin         | 34 |
| IV.2.2.3. Méthode de la pollution liquide     | 34 |
| IV.2.2.4. Méthode de la chambre de poussière  | 35 |
| IV.3. Modèle opératoire                       | 36 |
| IV.3.1. Modèle expérimental                   | 36 |
| IV.3.2. Mesure de la tension de contournement | 37 |
| IV.3.2.1. Mise en Marche                      | 38 |
| IV.4. Résultats                               | 41 |
| Conclusion                                    | 45 |
| BIBLIOGRAPHIE                                 | 46 |

# INTRODUCTION GENERALE

La production, le transport et la distribution de l'énergie électrique forment la colonne vertébrale de l'économie d'un état industriel moderne. Pour des raisons économiques, le transport et la distribution de l'énergie électrique s'effectuent généralement par des lignes aériennes. Leur fiabilité dépend donc considérablement du comportement mécanique, électrique et diélectrique des différents composants de ces lignes. Parmi ces composants, on note le rôle primordial que jouent les isolateurs.

L'isolement des réseaux électriques est réalisé à l'aide des chaînes d'isolateurs placés sur des pylônes, l'isolateurs ne tardent pas à se recouvrir de divers types de pollution. Cette pollution est due aux particules emportées par la fumée éjectée par les véhicules et les usines (pollution industrielle), aux particules salines dans les régions situées au bord de la mer (pollution marine) et aux particules de sable dans les régions désertiques (pollution désertiques). Ces particules, souvent constituées d'une combinaison de plusieurs types de pollution (pollution mixte), portées par les vents et déposées sur les isolateurs peuvent s'accumuler sur une longue période. Quelle que soit leur nature, les polluants en état sec, ne provoquent pas la dégradation de la rigidité diélectrique. Cependant, l'humidification de ces dépôts solides engendrent, lors de la mise sous tension, la naissance d'un faible courant de fuite qui va circuler le long des zones de résistivités différentes, modifiant la répartition du potentiel entre électrodes. La décharge électrique pourra s'amorcer, si le champ électrique local atteint un certain seuil. Cette décharge pourra s'allonger sur la surface de l'isolateur menant au court-circuit de l'électrode haute tension et la masse; c'est le phénomène de contournement, qui peut engendrer la mise hors service de la ligne haute tension et même la détérioration de l'isolateur. Le présent travail consiste à mettre en évidence l'effet de la pollution sur le comportement d'un modèle expérimental.

Nous commençons le premier chapitre par une synthèse bibliographique sur les isolateurs de haute tension. Nous citons les différents types d'isolations et les matériaux utilisés.

Dans le deuxième chapitre, nous rappelons les phénomènes de pollution et leurs conséquences sur le transport de l'énergie.

Nous décrivons dans le troisième chapitre le phénomène de contournement et les différentes techniques de lutte contre la pollution.

La partie expérimentale est présentée dans le quatrième chapitre. Dans cette partie nous présentons la variation de la tension de claquage en fonction de plusieurs paramètres.

## Isolateurs de haute tension

- I.1. Définitions
- I.2. Les isolateurs
- I.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur
- I.4. Types d'isolations
  - I.4.1. Isolateurs de type rigide
  - I.4.2. Isolateurs à capot et tige
  - I.4.3. Isolateur à long fût en porcelaine
  - I.4.4. Chaînes d'isolateurs
- I.5. Matériaux utilisés
- I.6. Conclusion



## 1.1. Définitions

On appelle « **isolement** » d'un ouvrage ou d'un appareil électrique, son aptitude à supporter la tension, ou plus généralement, les contraintes électriques qui lui sont appliquées. On appelle « **isolation** » l'élément matériel ou l'ensemble des dispositifs constructifs qui assurent cet isolement.

Il est clair qu'aucun diélectrique n'est capable de résister indéfiniment à l'application d'une tension d'amplitude croissante. Il se produit alors une rupture du pouvoir isolant qui se traduit par la formation d'un chemin conducteur à travers le corps isolant.

Les mécanismes de rupture diélectrique sont extrêmement complexes. Ceux-ci dépendent essentiellement de la forme de la tension appliquée (principalement la vitesse de croissance et l'amplitude) et de la nature de l'isolant (air, gaz, diélectrique solide ou liquide...).

## 1.2. Les isolateurs

Les isolateurs entrent pour un faible pourcentage dans le prix d'une ligne aérienne, mais ils en sont un élément essentiel. Leur rôle est de relier les conducteurs sous tension aux supports d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne. Aussi, le choix du type d'isolateur, les contrôles de réception, la surveillance en exploitation doivent-ils être faits avec le maximum de soin. Dans l'état des connaissances actuelles, on ne peut affirmer qu'un nouvel isolateur ayant répondu aux différents contrôles de réception ait une durée de vie équivalente à celle de la ligne. La difficulté réside principalement dans le fait qu'aucun essai de réception ne peut jusqu'à ce jour mettre en évidence un vieillissement certain de l'isolateur [1].

**L'isolateur** : est un matériau isolant solide qui présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les court-circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution [4].

### 1.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur

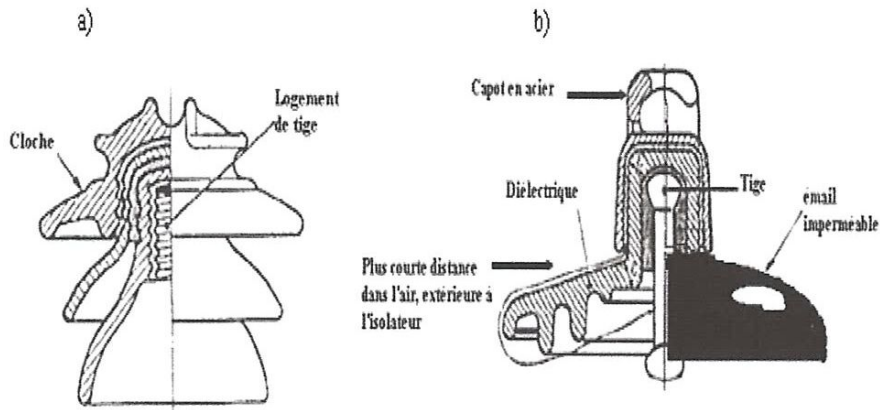
Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes. Ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage), ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe (air atmosphérique), ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure).

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement. Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents, qui sont les suivants:

- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.
- L'interface air – matériau diélectrique.

(La longueur de l'interface constitue la ligne de fuite – ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite)

Les isolateurs sont de deux types principaux: rigides et à chaîne (Fig. I.1 a ; b). La partie supérieure des isolateurs rigides sur laquelle est fixé le conducteur est constituée d'une ou de plusieurs jupes en porcelaine. Une tige vissée à l'intérieure des isolateurs permet de les fixer à un support. Pour des tensions supérieures à 70 kV, on emploie toujours des chaînes d'isolateurs constituées d'un certain nombre d'éléments en porcelaine réunis par des pièces métalliques. Le nombre d'éléments varie avec la tension : pour une tension de 110 kV, on admet de 4 à 7, pour une tension de 230 kV, de 13 à 16.



a. Vue en coupe d'un isolateur rigide à 69 kV. Tension de tenue aux ondes de choc : 270 kV ; tension de rupture à 60 Hz par temps humide : 125 kV (gracieuseté de Canadian Ohio Brass Company Ltd).

b. Vue en coupe d'un élément d'isolateur à chaîne. Diamètre: 254 mm ; tension de tenue aux ondes de choc: 125 kV; tension de rupture à 60 Hz par temps humide: 50 kV.

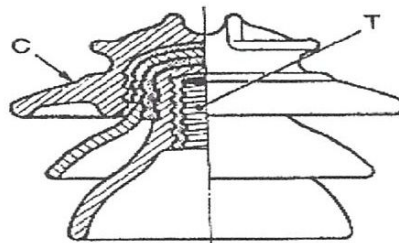
Fig. I.1 (a, b) : Vue en coupe des deux types d'isolateur

## 1.4. Types d'isolations

On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs:

### 1.4.1. Isolateurs de type rigide

Un isolateur rigide (Fig. I.2.) est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes. La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour les isolateurs rigides.

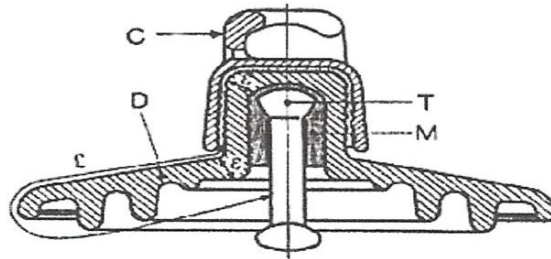


C : Cloche  
T : Logement de tige.

Fig.I.2. Isolateur rigide en verre.

### 1.4.2. Isolateurs à capot et tige

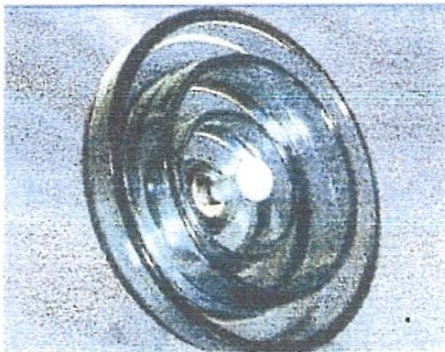
L'isolateur capot tige (Fig.I.3.) est constitué d'un bloc isolant portant à sa partie supérieure un capot scellé en fonte malléable et à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures et dont la tête conique est également scellée dans le verre (ou la porcelaine). L'extrémité inférieure de cette tige est arrondie et a les dimensions voulues pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant, et y être maintenue par une goupille. L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique, le tout est posé sur une table vibrante pendant une minute afin d'obtenir un bon scellement [2].



- C : Capot (fonte malléable, galvanisée à chaud)
- D : Diélectrique (verre trempé ou céramique)
- M : Mortier de ciment alumineux ou Portland
- T : Tige (acier, galvanisé à chaud)
- L : Plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur
- $\epsilon$  : Longueur du canal de perforation,  $\epsilon \ll L/2$

**Fig.I.3.** Isolateur à capot et tige.

Différents profils des isolateurs à capot et tige :



**Profil standard**



**Profil antibrouillard (A)**



**Profil antibrouillard (B)**



**Profil ouvert**



**Profil sphérique**

**Fig.I.4.** Différents profils d'isolateurs à capot et tige.

***a/- Profil standard :***

La faible profondeur, l'espacement entre les anneaux (nervures) et la ligne de fuite moyenne permettent l'utilisation de ce profil dans une zone de pollution modérée.

***b/- Profil brouillard :***

Plus large que le profil standard, l'écartement entre les anneaux permet un bon nettoyage par le vent ou la pluie et facilite le lavage manuel si nécessaire. L'espacement prévient également l'apparition d'arcs entre les anneaux adjacents dans des conditions sévères de pollution.

***c/- Profil ouvert :***

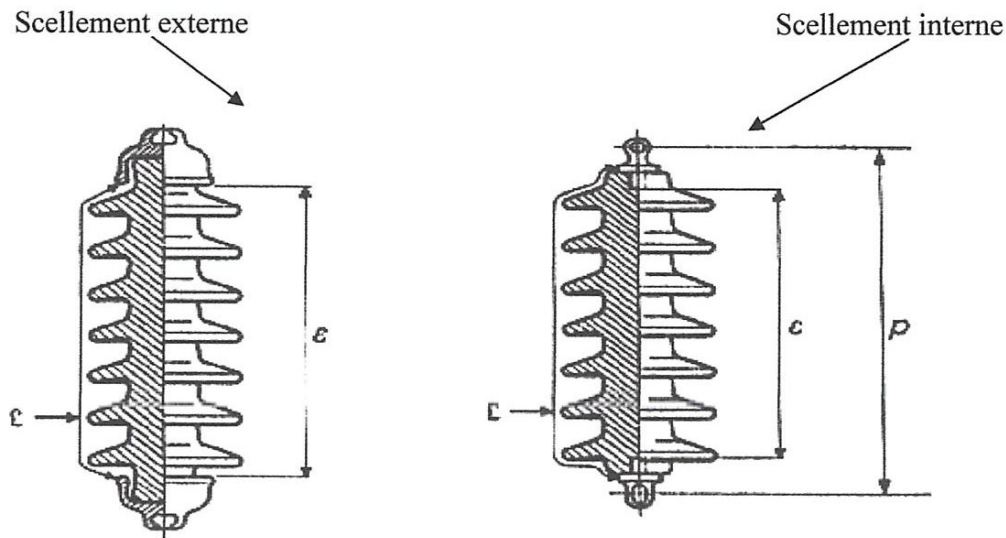
La suppression complète des anneaux permet de réduire l'accumulation des dépôts polluants. Ce type de profil est particulièrement efficace en régions désertiques où le lavage par pluie est très rare.

***d/- Profil sphérique :***

Ce type de profil donne une ligne de fuite équivalente au profil standard, mais l'absence d'anneaux facilite le nettoyage manuel.

**I.4.3. Isolateur à long fût en porcelaine**

Ils sont constitués d'un cylindre plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes (Figure I. 5). A chaque extrémité est fixée une pièce métallique de liaison. Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis.



$\mathcal{L}$  : Plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur

$\varepsilon$  : Longueur du canal de perforation

$p$  : pas

$$\varepsilon \gg \mathcal{L}/2$$

**Fig.I.5.** Isolateur à long fût en porcelaine.

#### 1.4.4. Chaînes d'isolateurs

Les chaînes d'isolateurs sont constituées d'un ensemble d'isolateur de type capot et tige ou à long fût équipés de pièces métalliques de liaison, nécessaires pour les relier de façon flexible les uns aux autres (Fig. I.6.), à la pince de suspension du conducteur ou au support.

Les éléments de chaînes sont soumis principalement à des efforts de traction. Ils sont généralement utilisés en suspension et forment des chaînes d'isolateurs soit verticales (chaînes d'alignement), soit horizontales (chaînes d'ancrages).

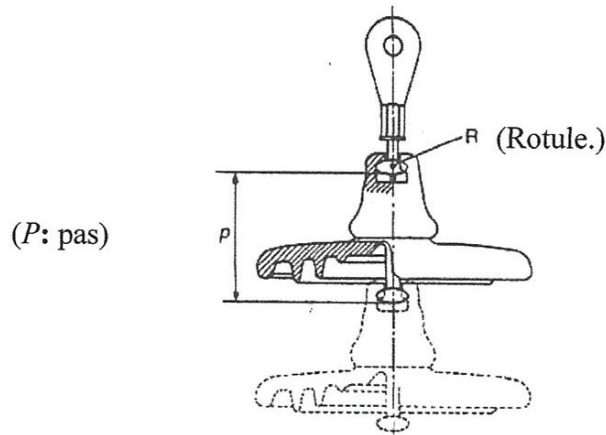


Fig.I.6. Assemblage à rotule.

### 1.5. Matériaux utilisés

Un isolateur est constitué en général de deux parties : une partie isolante et des pièces métalliques de liaison, scellées sur cette partie isolante.

#### a) Isolants

Jusqu'aux années quatre-vingt, seuls le verre et la céramique ont justifié d'un bon comportement en exploitation, bien que ces deux matériaux soient, par essence, Matériaux fragiles.

- **Céramiques.** Elles sont actuellement utilisées pour les isolateurs à haute tension et correspondent à des formules voisines, soit de  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  (porcelaine traditionnelle), soit de  $Al_2O_3$ ,  $5SiO_2$  (stéatite).

L'isolateur, après usinage de son ébauche cylindrique humide (type à capot et tige) ou sèche (type à long fût), est cuit dans un four à une température et pendant une durée convenables.

Certaines céramiques à grains très fins sont recommandées pour des isolateurs devant supporter des efforts mécaniques élevés [1].

- **Verres.** Deux types sont utilisés : le verre recuit et le verre trempé.

Le verre recuit a surtout été utilisé pour faire des isolateurs rigides, mais on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de température.

De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce



qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension. Le verre trempé est obtenu par chauffage de l'isolant retiré du moule à une température d'environ 700°C, puis refroidi par des jets d'air sous pression : les couches extérieures de la pièce isolante acquièrent rapidement une rigidité qui ne leur permet plus aucune déformation. L'intérieure restant à une température supérieure à celle des couches extérieures, il ne peut se contracter librement, lors de son refroidissement; il reste donc en extension et crée des Contraintes de compression sur les couches superficielles. Le verre trempé présente une contrainte mécanique en traction environ 5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100°C [1].

Matériaux synthétiques. –Il faut signaler les développements faits dans le monde en vue de réaliser des isolateurs fiables avec ces matériaux. Ces isolateurs, dits composites, sont constitués d'une âme réalisée en fibre de verre imprégné de résine, donnant à l'isolateur sa tenue mécanique, et d'une enveloppe en matériaux synthétiques isolants. Les revêtements ayant un comportement satisfaisant sous contraintes électriques sont certaines résines cycloaliphatiques (chargées au trihydrat d'alumine) des caoutchoucs synthétiques (silicones ou EPDM: éthylpropyldimonomère) ou despolytétrafluoroéthylènes (Téflon). Ces revêtements évitent tout cheminement carboné en surface sous l'effet de contraintes électriques mais sont soumis à une érosion superficielle plus ou moins rapide selon leur constitution [1].

### ➤ Pièces métalliques de liaison

Les parties isolantes constitutives de l'isolateur sont reliées entre elles ou au support par des pièces métalliques (Fig. I.7) réalisées dans différents métaux qui doivent répondre Contraintes mécaniques et thermiques appliquées à l'isolateur au cours de son exploitation. Les principaux métaux ou alliages utilisés sont :

-les fontes malléables, permettant de réaliser des pièces minces et de formes compliquées, par exemple les capots d'isolateurs ;

-les aciers au carbone, de caractéristiques précises (XC des normes NF EN 10084 et NF EN 10083), employés pour la réalisation des pièces forgées, en particulier les tiges

d'isolateurs ;

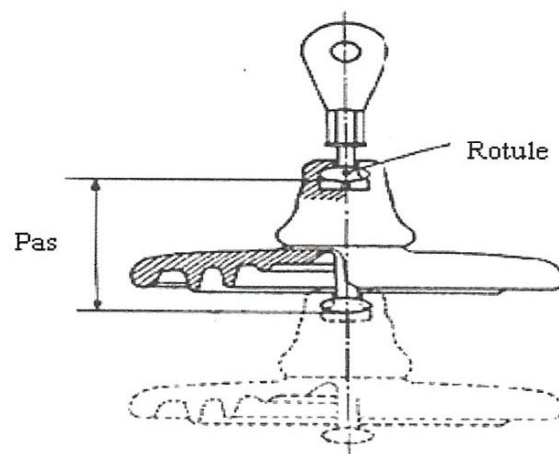


Fig. I.7: Assemblage à rotule

-les alliages d'aluminium et les alliages de cuivre et de bronze d'aluminium, permettant de fabriquer certains capots ;

-les alliages de zinc du type Z-A4G, qui compte tenue de leur température de fusion, permettent de couler directement les capots sur les diélectriques des isolateurs de faible résistance mécanique. La liaison entre pièces métalliques et partie isolante est réalisée à l'aide d'un scellement qui peut être fait au mortier de ciment Portland ou alumineux. Des alliages de plomb antimoine, des mélanges de soufre et de poudre céramique sont également utilisés. De la qualité du scellement et des différents assemblages dépendent, en grande partie, la sécurité d'exploitation et la durée de vie de l'isolateur [1].

## I.6. Conclusion

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils sont un élément essentiel dont dépend la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service.

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire les isolateurs qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

Les isolateurs sous haute tension ne se comportent pas de la même façon qu'à basse

ou moyenne tension, dans ce cas on donne beaucoup d'importance au phénomène de la pollution des isolateurs qui présente un danger particulier pour les dispositifs de haute tension qui peuvent engendrer des pertes d'énergie.

## Pollution des isolateurs

### II.1. Introduction

### II.2. Sources et types de pollution

#### II.2.1. Pollution naturelle

##### II.2.1.1. Pollution marine

##### II.2.1.2. Pollution désertique

#### II.2.2. Pollution industrielle

#### II.2.3. Pollution mixte

##### II.2.3.1. Cimenteries

##### II.2.3.2. Carrières et extraction de sable

##### II.2.3.3. Unités de plâtre et de chaux

##### II.2.3.4. Centrales de production électrique

### II.3. Mesure de la sévérité de la pollution des sites

### II.4. Comportement des isolateurs sous pollution

### II.5. Conclusion

## 2.1. Introduction

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.

De nombreux travaux, 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, la conductivité superficielle et le profil de l'isolateur, rendent la compréhension et la maîtrise du mécanisme de contournement bien difficiles [1].

## 2.2. Sources et types de pollution

Nous distinguons trois sortes de pollutions : la pollution naturelle, industrielle et mixte.



### 2.2.1. Pollution naturelle

La pollution naturelle provient de sels marins dans des régions côtières, de poussières du sol (notamment lors de chantiers importants), de sables véhiculés par le vent en régions désertiques [2]

**2.2.1.1. Pollution marine**

Les lignes de haute tension qui passent près de la mer dans les zones côtières sont exposées au vent qui vient de la mer et qui porte des embruns causant la formation d'une couche polluante de sel sur les surfaces des isolateurs. Cette couche peut devenir conductrice lorsqu'elle est humidifiée ou mouillée ce qui conduit à la circulation d'un courant de fuite et par suite, la génération d'arcs électriques ou même la génération d'un contournement [3].

**2.2.1.2. Pollution désertique**

Parmi les phénomènes qui caractérisent la nature désertique, les vents de sable. Malheureusement, après ces vents, des dépôts de sable se déposent sur les surfaces des isolateurs. Lorsque ces dépôts seront humidifiés, les couches de sable deviennent plus ou moins conductrices à cause de l'existence de sels dans le sable [3].

**2.2.2. Pollution industrielle**

Le problème de la pollution industrielle se présente pour les lignes qui passent près des zones industrielles (les fumées des usines, raffineries, cimenteries, minerais ..... etc.), près des grandes villes (les gaz d'échappement des véhicules) ou près des terrains agricoles (les engrais utilisés en agriculture) [4].

**2.2.3. Pollution mixte**

Ce type de pollution est le plus dangereux, elle est la résultante de l'existence de différents types de pollution dans la même zone, comme les zones industrielles dans des régions côtières. Les principales sources de pollution qui peuvent être rencontrées, séparément ou simultanément dans la région du centre, sont soit des sources naturelles (embruns marins pour les ouvrages installés en bordure de mer, sable pour les régions désertiques, poussières naturelles,...), soit des sources industrielles (fumées évacuées à proximité des cimenteries, des complexes sidérurgiques, des usines des produits chimiques, des centrales thermiques), soit encore la pollution domestique provenant des appareils de chauffage et les fumées des

véhicules. Par ailleurs, nous retrouvons également la pollution agricole due surtout aux engrais.

### **2.2.3.1. Cimenteries**

Différents composants néfastes au comportement des isolateurs de haute tension, sont contenus dans les fumées dégagées par les cimenteries. Nous pouvons citer en particulier les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), les composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM), le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Notons qu'en plus des ces composants, des poussières de ces mêmes cimenteries se déposent également sur les isolateurs. Ceci est défini par un facteur d'émission (FE, poussière en kg/tonne de ciment).

### **2.2.3.2. Carrières et extraction de sable**

Au cours de ces dernières années, les sablières se sont multipliées d'une manière anarchique, dans les zones côtières et sur les bassins versants et plus particulièrement, au niveau des nappes alluviales des principaux oueds côtiers.

### **2.2.3.3. Unités de plâtre et de chaux**

La plupart des plateries et unités de chaux sont équipées de filtres à manche ou de filtres électrostatiques. Cependant, comme dans le cas des cimenteries, les nombreux problèmes de maintenance font que les filtres sont très souvent en panne. Les rejets sont essentiellement des poussières ou des gaz de combustion provenant des fours de calcination.

### **2.2.3.4. Centrales de production électrique**

La production d'électricité, qui est essentiellement d'origine thermique (98%), est produite dans les centrales thermiques à vapeurs et des groupements de turbines à gaz. Ces centrales thermiques sont réparties à travers l'ensemble du territoire. L'énergie hydroélectrique représente moins de 1% de la production totale d'électricité et le diesel reste

réservé aux localités du sud du pays. Dans l'ensemble des centrales thermiques, la source d'énergie est le gaz naturel. Cette forme d'énergie limite considérablement les rejets atmosphériques. A l'exception des oxydes d'azote et dans une moindre mesure de l'oxyde de carbone dont les émissions sont relativement importantes, les rejets relatifs aux autres polluants (particules, SO<sub>2</sub>, COV) sont faibles. Avec la relance économique, l'Office National des Statistiques (ONS) a prévu le passage de cette production à une croissance annuelle de près de 10%. Ceci implique une augmentation correspondant à des émissions de polluants plus importante.

### **2.3. Mesure de la sévérité de la pollution des sites**

La sévérité de la pollution d'un site est généralement mesurée par différentes méthodes. Il y a la méthode de salinité équivalente qui consiste à mesurer la conductivité de la solution obtenue par la dissolution des agents polluants dans de l'eau distillée. Il y a aussi la détermination au laboratoire du courant de fuite d'un isolateur pollué artificiellement. Les essais de laboratoire sont valables dans la mesure où les conditions d'essais conduisent aux mêmes valeurs de courant de fuite observées sur site [3]. La mesure de la sévérité de la pollution d'un site est importante lors du choix des isolateurs à installer dans ce site [3].

On peut classer les degrés de la pollution suivant quatre niveaux selon la CEI 81-5 qui sont: faible, moyenne, forte et très forte (Tab. 2.1) [3].



|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Faible 0.06 mg/cm <sup>2</sup>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zones sans industries et avec faible densité d'habitations équipées d'installation de chauffage</li> <li>• Zones avec faible densité d'industries ou d'habitations mais soumise fréquemment aux vents et/ou pluies.</li> <li>• Régions agricoles.</li> <li>• Régions montagneuses.</li> </ul>  |
| Moyenne 0.20mg/cm <sup>2</sup>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ou avec une densité moyenne d'habitation équipées d'installation de chauffage.</li> <li>• Zones à forte densité d'habitation et/ou d'industries mais soumises fréquemment à des chutes de pluies.</li> <li>• Zones exposées aux vents de mer, mais trop proches de la cote.</li> </ul>  |
| Forte 0.60mg/cm <sup>2</sup>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'installation de chauffage polluantes.</li> <li>• Zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement fort venant de la mer.</li> </ul>  |
| Très forte > 0.60 mg/cm <sup>2</sup> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zones généralement peu étendues, soumises à des fumées industrielles produisant des poussières conductrices.</li> <li>• Zones généralement peu étendues, très proches de la cote et exposées aux embruns ou au vent fort et polluant venant de la mer.</li> <li>• Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant de sable et du sel soumis à une condensation régulière.</li> </ul> |

*Tab. 2.1: Classement de degré de pollution selon CEI 815 [3]*

#### 2.4. Comportement des isolateurs sous pollution

Le comportement des isolateurs sous pollution est un facteur essentiel pour la conception et l'exploitation des lignes en zones polluées. Il convient donc de connaître les différents phénomènes de conduction sous pollution.

Lors de la mise en place d'une chaîne d'isolateurs, la longueur de la ligne de fuite de l'ensemble est telle que le champ électrique en chaque point est très inférieur à la rigidité diélectrique de l'atmosphère ambiante. La conductivité superficielle créée par la couche de pollution, modifie la répartition du potentiel de la ligne de fuite, selon les contraintes auxquelles est soumis. Trois cas peuvent se présenter :

- ❖ Arc non localisé: l'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçait à un autre endroit et ainsi de suite. Ces arcs peuvent être dus soit à la formation d'une zone sèche à la suite du passage d'un courant de fuite, comme ils peuvent être dus à l'état de surface de l'isolateur, (l'existence des pics sur la couche de pollution).
- ❖ Arc fixe : l'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (source continue), soit en réamorçant au même endroit (source alternative). L'impédance de dépôt et de la surface propre d'isolateur est en série avec l'arc, elle limite ainsi le courant de l'arc et sa longueur. Si le courant est trop faible, l'arc s'éteindra. Généralement ce type d'arcs entraîne par effet thermique une dégradation du support isolant nécessitant le remplacement de l'élément défaillant.
- ❖ Contournement électrique : le phénomène de contournement des isolateurs pollués résulte de la combinaison de plusieurs paramètres.
  - dépôt d'une couche de matériaux solides (conductrice ou isolante).
  - humidification de ces dépôts.
  - existence d'une tension appliquée.

## 2.5. Conclusion

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

La méthode d'essai sous pollution artificielle est largement utilisée. Elle consiste à reproduire au laboratoire les conditions de la pollution naturelle, ainsi qu'elle possède l'avantage d'être rapide.

Plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont proposées. Nous citons par exemple le lavage manuel périodique des isolateurs lors de la diminution des précipitations pluviales, l'allongement de la ligne de fuite totale de la chaîne d'isolateurs en augmentant le nombre de ces derniers ...

## Phénomène de contournement

### III.1. Introduction

### III.2. Phénomène de contournement

III.2.1. Déroulement du contournement

III.2.2. Contrainte de contournement

III.2.3. Tension de contournement

III.2.4. Tension de tenue

III.2.5. Courant de fuite

III.2.6. Courant de fuite critique

III.2.7. Longueur critique d'arc

III.2.8. Conductance superficielle

### III.3. Technique de lutte contre la pollution

III.3.1. Allongement de la ligne de fuite

III.3.2. Graissage

III.3.3. Lavage périodique

III.3.4. Anneaux de garde

### 3.1. Introduction

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 alors 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 [5].

#### L'isolateur

L'isolateur est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques M1 et M2 (Fig.3.1)

M1 se fixe au pylône ; M2 porte le conducteur.

Rôle : l'isolateur possède un double rôle

- Rôle mécanique : porte le conducteur
- Rôle électrique : isole le conducteur par rapport au pylône.

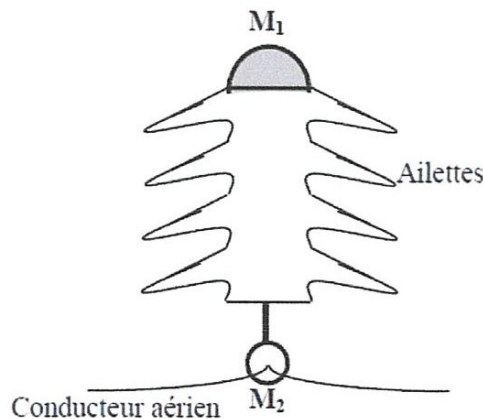


Figure 3.1. Isolateur

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison entre des conducteurs HT et la terre.

- Ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage) ;
- Ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe (air atmosphérique), ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure).

### **3.2. Phénomène de contournement**

On dit que le contournement se produit sur la surface de l'isolateur lorsqu'une décharge électrique s'établit entre ses extrémités et contourne la surface de l'isolateur. Le contournement provoque l'ouverture du disjoncteur, car il établit un court-circuit entre le conducteur et le pylône (défaut monophasé à la terre).

Le contournement cause habituellement l'interruption momentanée de l'écoulement de l'énergie dans le réseau. De telles interruptions, bien qu'étant nocives, peuvent être tolérées dans des endroits ruraux. Dans des secteurs urbains avec les industries de pointe (domaines pharmaceutiques, production de véhicules...) les interruptions ne sont pas acceptables parce qu'elles mènent à d'énormes pertes financières de production, de machines bloquées et des pertes de contrôle du cycle du processus. Par exemple, aux USA une interruption de 0,25 s dans une usine à papier peut provoquer des pertes de 100 000 dollars [5].

### 3.2.1. Déroulement du contournement

#### *Phase 1 : dépôt de pollution*

Des grains de pollution se déposent sur la surface de l'isolateur

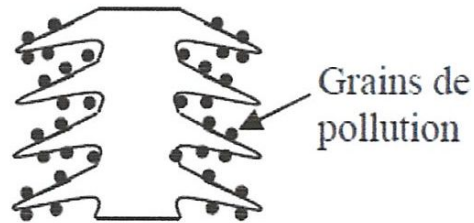


Figure 3.2

#### *Phase 2 : Formation d'un électrolyte conducteur*

A sec, la résistance superficielle reste élevée malgré le dépôt de pollution. Quand la couche de pollution devient humide (brouillard, humidité, rosée du matin, pluie fine...), elle se transforme en électrolyte conducteur et donne naissance à un courant de fuite superficiel  $I_f$  circulant sur la surface de l'isolateur.

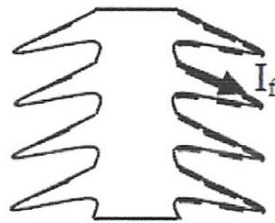


Figure 3.3

#### *Phase 3 : formation d'une bande sèche*

Dans les régions étroites de l'isolateur, où la densité de courant est élevée, une partie de l'électrolyte s'évapore et crée une bande sèche

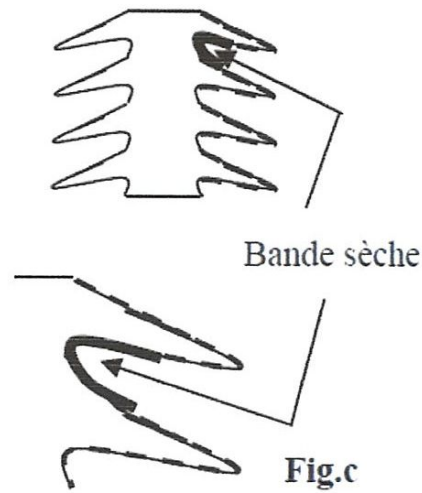


Figure 3.4

**Phase 4 : Contournement**

Comme la résistance de la bande sèche est beaucoup plus grande par rapport au reste de l'électrolyte, pratiquement toute la tension aux bornes de l'isolateur est maintenant appliquée aux extrémités de cette zone. Il se produit alors un claquage dans la bande sèche :

- Soit la décharge s'éteint  $\Rightarrow$  pas de contournement



Figure 3.5

- Soit la décharge progresse sur la surface  $\Rightarrow$  contournement de l'isolateur



Figure 3.6

### 3.2.2. Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'un isolateur est le rapport de la tension de contournement à la longueur totale de l'isolateur [1]

### 3.2.3. Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes [1]. Elle dépend:

- de la résistivité volumique moyenne de la pollution,
- de la répartition de la couche de pollution,
- du profil et des dimensions de l'isolateur.

### 3.2.4. Tension de tenue

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive (contournement dans le cas des isolateurs).

### 3.2.5. Courant de fuite

C'est un courant de nature impulsionnelle. Il est de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur. Il est donc à caractère électrolytique et de type résistif. Il devient important lorsqu'on s'approche de la tension de



contournement. Il dépend de plusieurs facteurs, entre autres, la nature de la couche de pollution, la longueur de la ligne de fuite et les conditions atmosphériques.

### 3.2.6. Courant de fuite critique

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer le contournement sous pollution d'un isolateur à une tension donnée. Il est indépendant du procédé d'essai ainsi que de la forme de l'isolateur. Le seul facteur dont dépend ce courant sous une tension donnée est la ligne de fuite, c'est-à-dire la contrainte spécifique exprimée en kV/cm.

### 3.2.7. Longueur critique d'arc

C'est la longueur limite  $X_C$  de l'arc partiel au-delà de laquelle l'arc conduira au contournement total [6].

### 3.2.8. Conductance superficielle

La conductance superficielle est le rapport du courant de fuite circulant à la surface de l'isolateur sur la tension appliquée. Elle caractérise l'état global de la surface isolante.

$$I_f$$

## 3.3. Technique de lutte contre la pollution

Pour un niveau de pollution donné, une bonne conception des lignes basée sur des mesures de sévérité de pollution permet de prévenir, autant que possible, les incidents lorsque la ligne est en service. Mais un changement dans les données d'un site est toujours possible, c'est-à-dire même un dimensionnement initialement correct peut s'avérer insuffisant dans certaines conditions.

Dans ces circonstances, on utilise des techniques comme l'allongement de la ligne de fuite, l'adaptation d'un autre type des isolateurs capable de résister aux contraintes de la pollution. Par contre, certaines zones très localisées sont soumises à un niveau de pollution exceptionnel. Dans ce cas, la simulation de laboratoire n'est pas recherchée, car aucun

isolateur de dimensionnement raisonnable n'est en mesure de résister à ces contraintes. On préfère, généralement, utiliser d'autres types des techniques de lutte contre la pollution. Plusieurs moyens sont utilisés afin de prévenir, autant que possible, les incidents lorsque une ligne est en service. Ces moyens de lutte doivent tenir compte des données propres au site considéré et au changement possible de la sévérité de pollution dû à de nouveaux facteurs (apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, ...).

### 3.3.1. Allongement de la ligne de fuite

Utiliser de longs isolateurs avec des lignes de fuite plus longues possibles (jusqu'à 10m pour les réseaux THT). Cette solution est très efficace et présente seulement des problèmes dans les régions à forte pollution.

### 3.3.2. Graissage

Une graisse chimique spéciale, imperméable et possédante une grande résistance superficielle, est appliquée sur la surface de l'isolateur. Son rôle est d'absorber les grains de pollution qui se déposent sur l'isolateur pour garder la surface propre. Le traitement par la graisse permet de rendre l'eau accumulée à la surface dispersée en gouttes, par conséquent le courant de fuite diminue sensiblement.

Le grand inconvénient des enduits de graisse est le temps court de l'intervalle d'application (en général moins de 1 à 2 ans) entre deux applications successives pour empêcher toute panne d'électricité par contournement. En outre, l'enlèvement de la graisse saturée est un travail long et fatigant comportant l'utilisation d'agents de nettoyage à sec et suivie par le lavage à l'eau. Si on laisse trop longtemps la graisse à la surface de l'isolateur elle se sature et peut mener à une rupture qui peut causer la détérioration de l'isolateur de porcelaine. En outre, dans certains pays comme les Etats-Unis, l'utilisation de la graisse devient de plus en plus difficile à accepter pour la préservation de l'environnement.

### 3.3.3. Lavage périodique

Les isolateurs placés dans des sites à grande pollution sont régulièrement lavés avec de l'eau distillée. Le lavage s'effectue avec un fusil à jet d'eau puissant, généralement au mois de juin à cause de l'humidité. Actuellement les travaux de maintenance comme le

lavage, s'effectuent sous tension (TST). Cependant, certains types de contaminants (par exemple, ciment, dépôts graisseux, certains engrais) qui adhèrent fortement à la surface de l'isolateur ne peuvent pas être facilement enlevés par un jet d'eau à haute pression. Dans ces cas-ci, le nettoyage est effectué en employant des agents abrasifs secs.

La limitation principale de cette méthode est qu'elle nécessite un travail long et cher. En outre, il n'y a aucune méthode fiable autre que l'expérience humaine de service pour déterminer quand le nettoyage de l'isolateur est nécessaire. Une attention particulière devrait être exercée pour le lavage des isolateurs composites parce que tous les matériaux ne peuvent être lavés à haute pression d'eau.

#### **3.3.4. Anneaux de garde**

L'utilisation des anneaux de garde sur les chaînes d'isolateurs à leur extrémité est un moyen communément pratiqué pour réduire l'effet couronne. Quand les isolateurs composites sont employés, l'utilisation des anneaux de garde aux extrémités des isolateurs est une pratique courante pour des tensions au dessus de 230 kV.

## Partie expérimentale

### IV.1. Introduction

### IV.2. Méthodes d'essais sous pollution

#### IV.2.1. Essai sous pollution naturelle

#### IV.2.2. Essais sous pollution artificielle

##### IV.2.2.1. Méthode des couches solides

##### IV.2.2.2. Méthode du brouillard salin

##### IV.2.2.3. Méthode de la pollution liquide

##### IV.2.2.4. Méthode de la chambre de poussière

### IV.3. Modèle opératoire

#### IV.3.1. Modèle expérimental

#### IV.3.2. Mesure de la tension de contournement

##### IV.3.2.1 Mise en Marche

### IV.4. Résultats

## 4.1. Introduction

A fin de comparer les performances de divers types d'isolateurs et de sélectionner ceux qui présentent le meilleur comportement sous pollution, il est nécessaire de les soumettre à des essais. Pour cela, nous distinguons deux principales méthodes d'essais à savoir les essais sous pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle. Ces essais peuvent être effectués dans les conditions naturelles ou au laboratoire.

Dans ce travail nous analysons les résultats expérimentaux concernant l'influence de la pollution sur le comportement des surfaces isolantes. Ces essais sont effectués dans le laboratoire de Génie Electrique de Guelma.

## 4.2. Méthodes d'essais sous pollution

Afin de 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 [9].

### 4.2.1. Essai sous pollution naturelle

Ces essais consistent à installer dans différents sites pollués, des stations dans les quelles on suit le comportement d'un certain nombre de chaines d'isolateurs. Comme la pollution naturelle est un phénomène à évolution lent, l'essai sous pollution naturelle peut prendre jusqu'à deux ans ou trois ans. La qualité d'isolement des isolateurs placés sous la même tension est déterminée en fonction de temps au contournement. Pour cela on va utiliser des plaques de verre [9].

### 4.2.2. Essais sous pollution artificielle

Les essais au laboratoire sont basés sur la reproduction de la couche de pollution par des solutions réparties à la surface de l'isolateur et dont la conductivité peut être modifiée. Afin de valider les essais sous pollution artificielle, il a été nécessaire de comparer les performances des isolateurs testés au laboratoire à celles des isolateurs en exploitation dans des conditions naturelles de pollution. Une première approche consiste à rechercher une

### 4.3. Modèle 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. Dans ce qui suit, nous exposons notre modèle en examinant l'effet de certains facteurs sur son comportement.

#### 4.3.1. Modèle expérimental

Le modèle expérimental que nous avons choisi est semblable à celui utilisé par Claverie et Porcheron [8]. Il est constitué d'une plaque de verre (250x50 mm) ayant la propriété de résister à la chaleur due aux décharges électriques. Cette plaque est munie de deux électrodes métalliques, la première est une pointe conductrice mise à la borne haute tension croissante et la seconde est rectangulaire (50 x 27 mm) mise à la terre. Le modèle de laboratoire est soumis à une répartition de la pollution reproduisant l'état critique de surface de l'isolateur, la distance inter électrodes du modèle expérimental correspond à la ligne de fuite de l'isolateur réel.



**Fig.4.1.** Modèle expérimental: (1) Plaque en verre; (2) Une électrode mise à la terre;  
(3) Une pointe conductrice mise à la borne haute tension

### 4.3.2. Mesure de la tension de contournement

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

La mesure de la tension de contournement, a été effectuée en appliquons une tension alternative générée par une source de tension (Figure 4.2).

Dans le but d'opérer avec un minimum d'erreurs dans les mesures, nous avons procédé à plusieurs essais préliminaires.

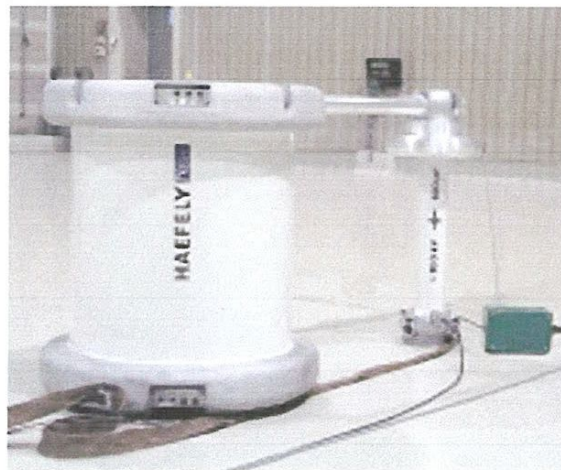
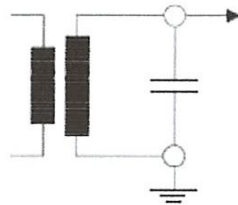


Figure 4.2. Montage expérimental de la source de tension alternative

### 4.3.2.1 Mise en Marche

#### A. Schéma global

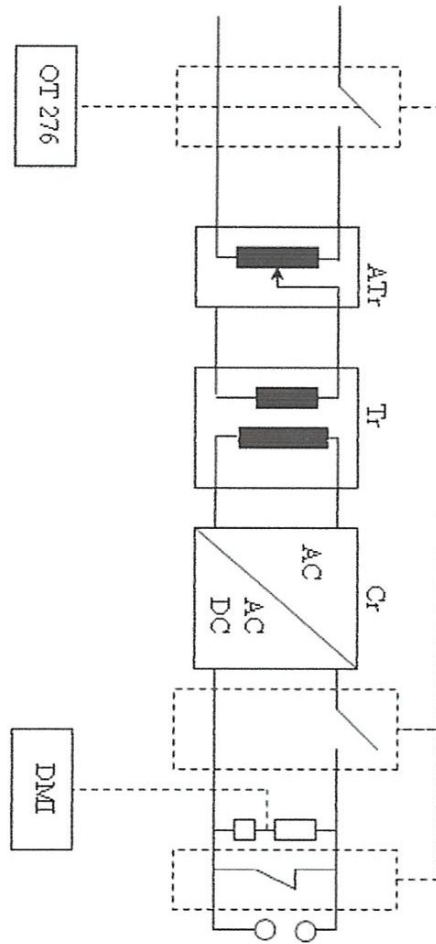


Figure 4.3. Schéma global



## B. Etapes

### 1.

Allumage du l'instrument de mesure DMI et de l'unité de contrôle l'OT276 (dos de l'instrument).

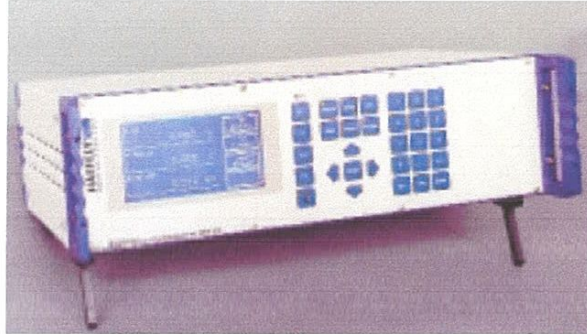


Fig. 4.4. Unité de

mesure

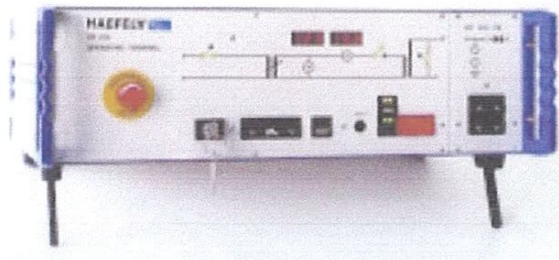


Fig. 4.5. Unité de

contrôle

### 2.

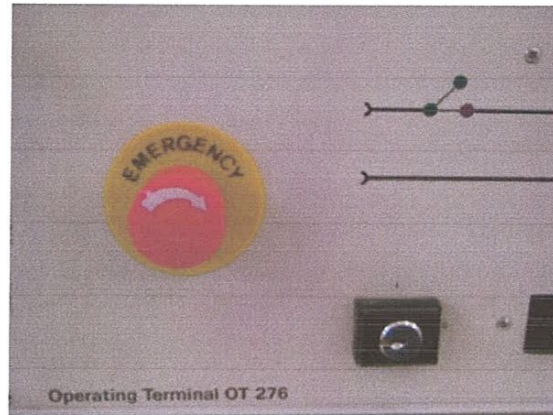
Le DMI peut démarrer, suivant le cas, directement en mode *Setup* pour d'éventuelles réglages (Tension limite par exemple), si les valeurs affichées sont acceptables on appuie sur *Display* pour passer au mode affichage des tensions mesurées. Il faudra par la suite choisir à partir de *F1* ou *F2* sur le clavier le type de mesure à effectuer AC ou DC.

### 3.

Une fois le réglage du DMI effectué on passe à l'unité de contrôle OT 276.

La première opération à faire sur le OT 276 c'est de tourner la clé vers la position 1.

Puis on appuie sur le bouton **Ready** qui ouvre le sectionneur de mise à la terre pour préparer l'éclateur à la mise sous tension.



Si on est prêt à faire l'essai le bouton **vert** (juste en dessous du bouton **Ready**) permet l'alimentation du primaire du transformateur élévateur  $Tr$  et met l'éclateur sous tension.

On peut augmenter alors la tension progressivement par le bouton indiqué par une flèche

4. ?

Pour le test de claquage il ne faut surtout pas laisser la décharge se poursuivre puisque ça constitue un régime de court circuit et donc expose les diodes, notamment, à des courants qui peuvent être néfastes s'ils sont de longue durée. L'arrêt de la manip se fait tout d'abord par le bouton rouge (à côté du bouton **Ready**) puis par la mise en position 0 de la clé pour que la tension soit remise à zéro automatiquement par l'autotransformateur, autrement l'unité de contrôle est verrouillée et la tension ne peut plus être augmentée d'avantage.

On constate que l'augmentation de la distance entre l'électrode sous tension et l'électrode de masse entraîne l'augmentation de la tension de claquage de manière quasiment linéaire. Cette relation peut être expliquée par le de champ électrique. Pour la même tension, l'augmentation de la distance inter-électrode entraîne la diminution du champ électrique appliqué entre les électrodes et par conséquent, pour provoquer le contournement il faut appliquer une tension plus élevée.

### ***B. Pièce de verre polluée***

Pour qu'on vérifie l'influence de la pollution sur le contournement, nous avons préparé les types de pollutions suivantes :

- Solution du sel
- Solution du sel mélangée avec la farine
- Farine sèche

Dans le cadre de cette étude nous avons appliqués une tension croissante aux bornes des pièces de verre soumises à une répartition de la pollution reproduisant l'état critique de surface de l'isolateur. La distance inter électrode est maintenue fixe égale à 11 cm.

Les résultats de mesure instantané de la tension de claquage et après un temps de retard ( $t= 1$  min) sont présentés dans le tableau 4.2

***Tableau 4.2. Tension de claquage en fonction du type de pollution***

| <b>Type de pollution</b>                  | <b>Tension de claquage<br/>( kv )</b> | <b>Après temps de retard<br/>( 1 min )</b> |
|---|---------------------------------------|--|
| Solution du sel                           | 6.253                                 | 9.939                                      |
| Solution du sel mélangé<br>avec la farine | 34.432                                | 40.321                                     |
| Farine sèche                              | 47.00                                 | 51.247                                     |

Nous remarquons les tensions de contournement ~~ont diminuées~~ considérablement par rapport à celles obtenues à l'état sec. Après le temps de retard on constate que ces valeurs augmentent. Cela est dû à l'augmentation de la conductivité superficielle des isolateurs, car l'humidification des couches polluantes engendre la dissolution des différents sels qui existent dans les couches de pollution.

### *C. Pièce de polymère sans pollution*

Après l'application d'une tension croissante aux bornes d'une pièce de polymère de longueur 11 cm, nous avons enregistré une tension de claquage égale à 55,7 Kv.

### *D. Pièce de polymère polluée*

Nous avons reproduit les mêmes expériences de l'essai B, mais avec une longueur de (490 x130 mm) , les tensions de claquage sont données par le tableau 4.3

| Type de pollution                       | Tension de claquage ( kv) |
|---|---------------------------|
| Solution du sel                         | 31.05                     |
| Solution du sel mélangée avec la farine | 24.88                     |
| Farine sèche                            | 55.82                     |

Les résultats de ces expériences montrent que la tension de claquage est plus grande dans le cas où la pièce est nette et aussi quand elle est soumise à une pollution sèche, par contre la tension de claquage est plus faible dans les cas où la pollution est avec l'eau saline et l'eau salée

### **Comparaison des résultats**

- l'étude comparative en fonction de la nature du matériau utilisé (verre, polymère) nous a permis de montrer qu'il y a une légère différence dans la tension de claquage où la nature de la pièce joue un rôle important.

- La nature de la pollution à une influence **significative** sur la tension de claquage.
- La tension de claquage est fortement conditionnée par la surface de la pièce, car le champ électrique diminue si la surface augmente.

## Conclusion

Notre étude nous a permis de mieux cerner les différents mécanismes régissant le phénomène de contournement sur des surfaces isolantes. En général, la pollution pose d'immenses problèmes contraignants au bon fonctionnement et à la fiabilité de service des réseaux de transport d'électricité. Ceci conduit à intensifier les recherches concernant ce problème afin de proposer et de trouver des solutions efficaces pour éviter les contournements des isolateurs sous pollution.

Les principaux résultats que nous pouvons donner sur la base des essais effectués sur les isolateurs sous différentes conditions au laboratoire LGEG sont les suivants:

- La nature de l'agent polluant utilisé influe sur la tension de contournement.
- La nature du matériau utilisé agit sur la tension de contournement.
- L'état de la surface (sec ou humidifié) agit fortement sur la tension de contournement des isolateurs, l'humidification des polluants diminue cette tension notablement.
- Le degré de pollution influe directement sur la tension de contournement des isolateurs. En effet, l'augmentation du degré de pollution des isolateurs diminue énormément la tension de contournement, donc la tension de tenue.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Soufi, Mémoire d'ingénieur "Conception d'un Modèle Dynamique de Contournement d'un Isolateur Pollué sous Tension Alternative 50 Hz", Ecole Nationale Polytechnique ENP, 2004, Alger.
- [2] M.Teguar, A.Boubakeur, "Pollution des Isolateurs de Haute Tension", Laboratoire de Haute Tension. Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger ENP 2004.
- [3] M. Terkmani, M.Babouamer, "Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension ", PFE, juin 2005, USTO.
- [4] 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 ENP, 1999.
- [5] A. Tilmatine, Notes de Cours "Techniques de la Haute Tension", Université Djillali Liabes.
- [6] D. Namane, "Effet de la Discontinuité de la Couche de Pollution sur le Comportement d'Isolateur Haute Tension, sous la Fréquence 50Hz" Mémoire de Magister, ENP, Département de Génie Electrique, Laboratoire de haute tension, Février 1998.
- [7] M.Kachi, M.Remadnia, A.Lemzadmi. Travaux Pratiques "Techniques de Haute Tension". Polycopié destiné aux étudiants de 1ère année Mastère en électrotechnique, OPU. Université 8 mai 1945 Guelma, 2009.
- [8] 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, Mars 1973, Paris, France.
- [9] T.GUIA, "Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle", Mémoire de Magister, ENP, Département de Génie Electrique, Laboratoire de haute tension.