

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat  
Département : Électromécanique  
Domaine : Sciences et Technologie  
Filière : Électromécanique  
Spécialité : Électromécanique

**Mémoire**

**Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Thème:**

**Analyse de L'évolution des charges électriques, Méthode de  
DPS**

**Présenté par:** M<sup>elle</sup>. *Saadou Hadda*

**Encadrant:** *Mr. Herous Lazhar*

*Grade: Professeur*

*Université: Annaba*

**Jury de Soutenance :**

|                 |            |         |           |
|-----------------|------------|---------|-----------|
| FARAH Lotfi     | MCB        | U.B.M.A | Président |
| HEROUS Lazhar   | Professeur | U.B.M.A | Encadrant |
| BOUGHABA Mourad | MAA        | U.B.M.A | Examineur |

**Année Universitaire : 2019/2020**

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux, de m'avoir donné la force et la patience d'accomplir et d'achever ce modeste travail.

La rédaction de ce mémoire est sa soutenance marquent la fin d'une aventure à plusieurs facettes:

Aventure dans le monde de la recherche qui ne devrait pas en rester là, aventure humaine, aventure familiale.

Différentes personnes n'ont accompagné tout au long de ce parcours et je tiens ici à les en remercier

A mon directeur de recherche **Mr.** Herous Lazhar pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité.

Je lui exprime ma gratitude pour m'avoir guidée dans ce travail.

Je remercie également les membres du jury qui on eu l'amabilité de lire ce travail et de l'évaluer.

Je remercie également tous mes proches pour m'avoir soutenu et encouragé lors de la rédaction de ce mémoire.

Je les remercie pour leur contribution.

# Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui

Particulièrement à mon père, pour le goût à l'effort qu'il suscité en moi.

À ma mère, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, un amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu m'as consentis pour mon instruction et mon bien être.

A mon frère et mes sœurs.

À tous mes amis aussi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

Tout en souhaitant que ce travail soit remerciement pour leur encouragement.

## **Résumé**

Les nuisances dues à l'électricité statique ont une importance de premier ordre dans un très grand nombre de domaines. Ces nuisances peuvent entraîner de simples gênes (à la production par exemple) qui peuvent être coûteuses, voire destructrices (notamment dans le domaine de la microélectronique) ou bien des dommages plus graves, liés à la sécurité des personnes (explosions dans des zones à risques).

Le but de notre travail est d'étudier l'évolution des charges statiques déposées sur la surface d'un isolant et de proposer une méthode de neutralisation ou l'élimination de leurs effets néfastes sur les installations électriques ou électroniques.

De nombreux secteurs industriels sont touchés par ces problèmes liés aux phénomènes électrostatiques ; il devient alors très important de pouvoir si ce n'est les éviter au moins en diminuer les effets au maximum.

### **Mots clés:**

Statique, polymère, charge, polyéthylène téréphtalate, déclin de potentiel de surface.

## Summary

The nuisances resulting from static electricity is very importance in a very large number of fields. These annoyances can cause simple genes (while production for example) which can be costly, even destructive (especially in the field of microelectronics) or even can affect severely the safety of people (explosions in risk areas).

The aim of this work is to study the evolution of static charges deposited on the surface of an insulator and to propose a method of neutralization or elimination of their harmful effects on electrical or electronic installations.

Many industrial sectors are affected by these problems related to electrostatic phenomena; for these reasons, it is quite necessary to have the ability to avoid them, at least to reduce their effects to the maximum extend.

### **Keywords:**

Static, polymer, charge, polyethylene terephthalate, surface potential decline.

## ملخص

الإزعاجات الناجمة عن الكهرباء الساكنة له أهمية قصوى في عدد كبير جداً من المجالات. يمكن أن تسبب هذه المضايقات جينات بسيطة (عند الإنتاج على سبيل المثال) يمكن أن يكون مكلفاً أو حتى مدمراً (خاصة في مجال الإلكترونيات الدقيقة) أو المجالات أكثر خطورة المرتبطة بسلامة و امن الأشخاص ( الانفجارات في مناطق الخطر ).

الهدف من عملنا هو دراسة تطور الشحنات الثابتة المترسة على السطح العازل واقتراح طريقة لتحديد أو إزالة آثارها الضارة على التركيبات الكهربائية أو الإلكترونية.

تتأثر العديد من القطاعات الصناعية بهذه المشاكل المرتبطة بالظواهر الكهربائية. و من ثم يصبح من المهم جداً أن تكون قادراً على تجنبها على الأقل لتقليل التأثيرات إلى أقصى حد.

### كلمات مفتاحية:

ثابتة، مركب كيميائي، شحنة، بولي إيثيلين، إنخفاض الجهد السطحي.

---

**Table des matières**

|   |    |
|---|----|
| Introduction générale.....  | 1  |
| Chapitre I : Etat de l'art.....                                       | 3  |
| 1.1. Introduction.....  | 4  |
| 1.2. Charge statique .....  | 4  |
| 1.2.1. Electron .....   | 4  |
| 1.2.2. Proton.....  | 5  |
| 1.2.3. Noyau .....  | 5  |
| 1.3. Historique .....   | 7  |
| 1.4. Champ électrique .....   | 9  |
| 1.5. Phénomènes physiques pour la création de charges statiques ..... | 10 |
| 1.5.1. Effet triboélectrique .....                                    | 11 |
| 1.5.2. L'influence ou induction.....                                  | 11 |
| 1.5.3. Effet corona (ou effet couronne).....                          | 12 |
| 1.5.4. Effet photoélectrique.....                                     | 13 |
| 1.6. Problème posé par les charges électriques.....                   | 13 |
| 1.7. Phénomènes de vieillissement .....                               | 15 |
| 1.8. Les décharges électriques .....                                  | 16 |
| 1.8.1. Décharges partielles .....                                     | 16 |
| 1.8.2. Classification de décharges partielles .....                   | 17 |
| 1.9. Prévention des risques incendie-explosion .....                  | 20 |
| 1.10. Problématique .....   | 20 |
| 1.11. Conclusion .....  | 21 |
| Chapitre II : Phénomènes liés aux charges statiques.....              | 22 |
| 2.1. Introduction.....  | 23 |

---

|   |    |
|---|----|
| 2.2. Etat de charge d'un polymère .....                       | 23 |
| 2.2.1. Contraintes électriques .....                          | 24 |
| 2.2.2. Contraintes thermiques .....                           | 24 |
| 2.2.3. Contraintes mécaniques .....                           | 24 |
| 2.2.4. Contraintes climatiques .....                          | 24 |
| 2.2.5. Contraintes radiatives .....                           | 24 |
| 2.2.6. Contraintes environnementales .....                    | 24 |
| 2.3. Polymères .....  | 25 |
| 2.3.1. Les thermoplastiques .....                             | 26 |
| 2.3.2. Les thermodurcissables .....                           | 26 |
| 2.4. Problème posés par les charges statiques .....           | 28 |
| 2.5. Evolution physique des décharges électriques .....       | 28 |
| 2.5.1. Rayonnement cosmiques ou radioactivité naturelle ..... | 28 |
| 2.5.2. Détachement d'électrons des ions négatifs .....        | 28 |
| 2.6. Avalanche électroniques .....                            | 29 |
| 2.7. Dégradation des matériaux isolants .....                 | 29 |
| 2.8. Enjeu industriel .....                                   | 33 |
| 2.9. Conclusion .....   | 34 |
| Chapitre III : Dispositif expérimental .....                  | 35 |
| 3.1. Introduction .....                                       | 36 |
| 3.2. Méthode de DPS .....                                     | 36 |
| 3.2.1. Poste de charge .....                                  | 36 |
| 3.2.2. Poste de mesure .....                                  | 37 |
| 3.2.3. Principe du voltmètre électrostatique .....            | 38 |
| 3.3. Dispositif expérimental .....                            | 39 |
| 3.3.1. Processus de chargement .....                          | 41 |
| 3.3.2 Matériau utilisé .....                                  | 42 |

---

|   |    |
|---|----|
| 3.4. Conclusion .....   | 43 |
| Chapitre IV : Analyse des résultats et les moyens de protections..... | 44 |
| 4.1 Introduction.....   | 45 |
| 4.2. Décharge couronne et Méthode de DPS .....                        | 45 |
| 4.3. Méthode de dépôt de charge .....                                 | 46 |
| 4.3.1. Effet couronne.....  | 46 |
| 4.3.2. Décharge couronne négative .....                               | 47 |
| 4.4. Résultats expérimentaux sur le dépôt de charges .....            | 48 |
| 4.5. Prévention et protection contre les charges statiques .....      | 51 |
| 4.5.1. Neutralisation des charges statiques .....                     | 53 |
| 4.6. Protection contre les nuisances électrostatiques .....           | 54 |
| 4.7. Conclusion .....   | 56 |
| Conclusion générale .....   | 57 |
| Bibliographies .....  | 58 |

**Liste des Figures**

|                      |   |    |
|----------------------|---|----|
| <b>Figure 1-1 :</b>  | Noyau atomique.....   | 05 |
| <b>Figure 1-2 :</b>  | Représentation d'un atome.....                                  | 05 |
| <b>Figure 1-3 :</b>  | Attraction et répulsion des atomes.....                         | 06 |
| <b>Figure 1-4 :</b>  | Formation des ions.....   | 07 |
| <b>Figure 1-5 :</b>  | Champ développé par des charges électriques.....                | 09 |
| <b>Figure 1-6 :</b>  | La force électrostatique.....                                   | 10 |
| <b>Figure 1-7 :</b>  | Triboélectrisation.....   | 11 |
| <b>Figure 1-8 :</b>  | Electrisation par influence.....                                | 12 |
| <b>Figure 1-9 :</b>  | Electrisation par effet corona.....                             | 12 |
| <b>Figure 1-10 :</b> | Electrisation par effet photoélectrique.....                    | 13 |
| <b>Figure 1-11 :</b> | Décharges partielles.....                                       | 17 |
| <b>Figure 1-12 :</b> | Classification de décharges partielles.....                     | 18 |
| <b>Figure 1-13 :</b> | Schéma représentant le scénario standard de vieillissement..... | 18 |
| <b>Figure 1-14 :</b> | Phénomène d'arborescence.....                                   | 19 |
| <b>Figure 1-15 :</b> | Câble détérioré.....  | 19 |
| <b>Figure 2-1 :</b>  | Différentes contraintes.....                                    | 25 |
| <b>Figure 2-2 :</b>  | Structure d'un polymère.....                                    | 26 |
| <b>Figure 2-3 :</b>  | Classification des polymères.....                               | 27 |
| <b>Figure 2-4 :</b>  | Avalanche électrique.....                                       | 29 |
| <b>Figure 2-5 :</b>  | Câble endommagé.....  | 30 |
| <b>Figure 2-6 :</b>  | Effet des charges électrique.....                               | 30 |
| <b>Figure 2-7 :</b>  | Effet des décharges dans le domaine électrique.....             | 31 |
| <b>Figure 2-8 :</b>  | Phénomène dues au dépôt de charge.....                          | 32 |
| <b>Figure 2-9 :</b>  | Effet des charges sur la surface d'un isolant.....              | 33 |
| <b>Figure 2-10 :</b> | Etude statistique des défaillances électrique.....              | 34 |
| <b>Figure 3-1 :</b>  | Poste de charge.....  | 37 |
| <b>Figure 3-2 :</b>  | Poste de mesure.....  | 37 |
| <b>Figure 3-3 :</b>  | Deux matériaux mis en contact.....                              | 38 |
| <b>Figure 3-4 :</b>  | Voltmètre électrostatique.....                                  | 39 |

---

|                        |  |    |
|------------------------|--|----|
| <b>Figure 3-5 :</b>    | Dispositif expérimental.....   | 40 |
| <b>Figure 3-6 :</b>    | Photo du dispositif expérimental.....                                | 40 |
| <b>Figure 3-7 :</b>    | Utilisation de PET.....  | 43 |
| <b>Figure 4-1 :</b>    | Evolution de déclin de potentiel sur les polymères.....              | 46 |
| <b>Figure 4-2 :</b>    | Décharges couronne négative.....                                     | 48 |
| <b>Figure 4-3 :</b>    | Effet de potentiel sur le dépôt.....                                 | 48 |
| <b>Figure 4-4 :</b>    | Dispositif expérimental pour mesure et atténuation de la charge..... | 49 |
| <b>Figure 4-5 :</b>    | Balayage sur le dépôt.....   | 50 |
| <b>Figure 4-6 :</b>    | Neutralisation de la charge surfacique.....                          | 50 |
| <b>Figure 4-7 :</b>    | Protection par la mise à la terre.....                               | 52 |
| <b>Figure 4-8 :</b>    | Ionisation de l'air d'une barre antistatique.....                    | 53 |
| <b>Figure 4-9 :</b>    | Ionisation de l'air par un pistolet.....                             | 53 |
| <b>Figure 4-10-a :</b> | Casque isolent.....  | 54 |
| <b>Figure 4-10-b :</b> | Gants isolantes.....   | 54 |
| <b>Figure 4-10-c :</b> | Ecran facial anti UV.....  | 55 |
| <b>Figure 4-10-d :</b> | Bottes isolantes.....  | 55 |
| <b>Figure 4-10-e :</b> | Combinaison de travail.....  | 55 |

---

## Liste des tableaux

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Tableau 1-1:</b> | Eléments d'un atome                             | 6  |
| <b>Tableau 1-2:</b> | Les valeurs susceptibles de la tension          | 15 |
| <b>Tableau 3-1:</b> | Représentation des caractéristiques physiques   | 42 |
| <b>Tableau 3-2:</b> | Représentation des caractéristiques électriques | 42 |

## Introduction générale

De nos jours, les exigences industrielles et celle des domaines tertiaires demandent de plus en plus un apport considérable en énergie électrique. La fiabilité des systèmes électriques dépend, entre autres, de la qualité des systèmes d'isolation électriques. De nombreuses contraintes, (électrique, mécanique, chimique, thermique), peuvent conduire à un vieillissement précoce et entraîner la perte partielle ou totale de la fonction d'isolation mettant en péril la disponibilité d'un système.

Les nuisances dues à l'électricité statique ont une importance de premier ordre dans un très grand nombre de domaines. Ces nuisances peuvent entraîner de simples gênes (à la production par exemple) qui peuvent être coûteuses, voire destructrices (notamment dans le domaine de la microélectronique) ou bien des dommages plus graves, liés à la sécurité des personnes (explosions dans des zones à risques).

Le contact fortuit avec ces matériaux chargés peut alors provoquer des courants de décharges matérialisés par un seuil d'ionisation développant une énergie capable d'engendrer l'explosion de certains fluides. L'électricité statique peut être une source de problèmes pendant les phases de production dans de nombreux domaines différents et cela à tous les niveaux de fabrication. Dans notre société industrielle, l'électricité est la forme d'énergie la plus utilisée. Les travailleurs sont amenés à utiliser du matériel électrique. Cela implique que toute entreprise peut être confrontée à un accident d'origine électrique. En effet, le nombre d'accidents liés à l'électricité augmente régulièrement et sont souvent très graves.

La fiabilité des systèmes électriques dépend, entre autres, de la qualité des systèmes d'isolation électriques. De nombreuses contraintes, (électrique, mécanique, chimique, thermique), peuvent conduire à un vieillissement précoce et entraîner la perte partielle ou totale de la fonction d'isolation mettant en péril la disponibilité d'un système.

A cet effet, les différents laboratoires et chercheurs n'ont cessé d'améliorer la technologie et la mise en œuvre de différentes technologies et de moyens de mesure en particulier dans le domaine de la haute tension qui peuvent répondre aux exigences des charges statiques et les matériaux diélectriques.

Le but de notre travail est d'étudier l'évolution des charges statiques déposées sur la surface d'un isolant et de proposer une méthode de neutralisation ou l'élimination de leurs effets néfastes sur les installations électriques ou électroniques. De nombreux secteurs industriels sont touchés par ces problèmes liés aux phénomènes électrostatiques ; il devient alors très important de pouvoir si ce n'est les éviter au moins en diminuer les effets au maximum.

Pour cela, nous avons utilisé un banc expérimental qui se trouve au laboratoire de recherche à l'université de Guelma le LGEG (Laboratoire de Génie Electrique de Guelma). Ce dernier nous permettra de procéder à un dépôt de charges sur la surface du matériau en appliquant une série de décharges électriques sur sa surface par la géométrie Pointe/plan. Nous analyserons ensuite le matériau par la méthode de déclin de potentiel de surface et nous procédons à neutraliser ces charges par un balayage alternatif au-dessus de la surface de l'isolant.

Nous avons divisé notre travail en quatre chapitres que nous présentons comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique et un état de l'art les charges statiques et leurs inconvénients sur les installations électriques.

Dans le deuxième chapitre nous présentons la méthode de dépôt de charges et une explication sur les différents mécanismes d'évolution des charges par la méthode de DPS.

Le troisième chapitre est consacré à la partie expérimentale, les différentes méthodes de dépôt de charges sur la surface d'un isolant et les essais sur la neutralisation des charges statiques.

Le quatrième chapitre présente l'analyse des résultats.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale où nous soulignons les points essentiels dégagés par notre étude ainsi que les perspectives.

# **Chapitre I : Etat de l'art**

## 1.1. Introduction

Dans la majeure partie des cas, l'électricité statique se forme suite au contact suivi de la séparation de deux corps ou du frottement entre ces deux corps. Les deux corps peuvent être des isolants ou bien l'un d'entre eux, un conducteur, qu'il soit ou non relié à la terre. L'accumulation des charges ainsi créées peut alors entraîner une gêne pour la production ou même un danger dans les milieux industriels à risques. De nombreux facteurs jouent un rôle dans l'établissement de ces charges électriques : la nature des corps mis en jeu évidemment, mais aussi des facteurs externes tels que l'humidité de l'air environnant et la température.

De nombreux secteurs industriels sont touchés par des problèmes liés aux phénomènes électrostatiques ; il devient alors très important de pouvoir si ce n'est les éviter au moins en diminuer les effets au maximum.

## 1.2. Charge statique

La matière est électriquement neutre puisqu'elle est composée d'atomes qui comportent autant d'électrons (chargés négativement) que de protons (chargés positivement). La force électrique ne se produit qu'entre deux objets qui ont une propriété particulière, qu'on appelle la charge électrique et qui apparaît notamment lorsqu'on frotte deux objets l'un contre l'autre. La charge électrique est une grandeur qui se note avec la lettre  $q$  (parfois en majuscule  $Q$ ). Son unité est le Coulomb, de symbole  $C$ , choisie en hommage au physicien français Charles Coulomb (1736 – 1806) qui consacra une partie de ses recherches à l'étude de l'électrostatique et aux interactions entre charges électriques [1].

### 1.2.1. Electron

Les **électrons** sont plus petits et plus légers des particules dans un atome. Les électrons sont en mouvement constant comme ils tournent autour du noyau de cet atome. Les électrons sont dits ont une charge négative, ce qui signifie qu'ils semblent être entouré par une sorte de champ de force invisible. C'est ce qu'on appelle un champ électrostatique [1].

### 1.2.2. Proton

Les **protons** sont beaucoup plus grands et plus lourds que les électrons. Les protons ont une charge électrique positive. Ce champ électrostatique chargé positivement est exactement la même force que le champ électrostatique dans un électron, mais elle est opposée à la polarité. En d'autres termes, le proton est exactement aussi positif que l'électron est négatif.

### 1.2.3. Noyau

Le noyau atomique est composé de particules, les **nucléons**, qui sont l'**ensemble des protons et des neutrons** [1].

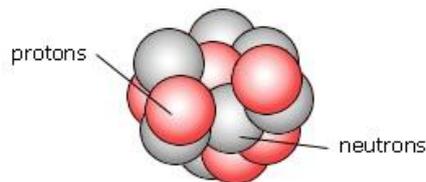


Figure1-1: Noyau atomique

Le nombre de nucléon **A** et le nombre de protons **Z** (ou **numéro atomique**) caractérisent le noyau.

Le noyau d'un atome **X** est représenté par  ${}^A_Z\text{X}$ .

Le nombre de neutrons que contient l'atome est noté **N**.

On a donc :

$$N = A - Z \quad (1-1)$$

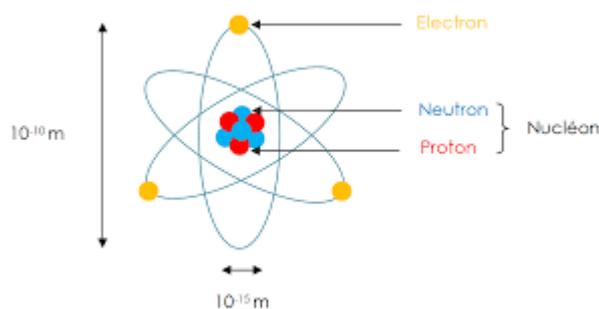


Figure1-2: Représentation d'un atome

- Les **charges électriques identiques se repoussent** (++) ou (--)
- et **charges électriques opposées s'attirent** (+- ou -+).

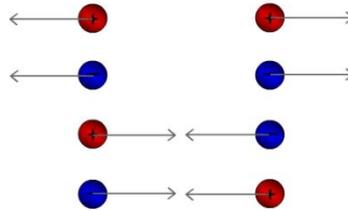


Figure1-3: Attraction et répulsion des atomes

Deux électrons auront tendance à se repousser mutuellement, car les deux ont une charge électrique négative. Deux protons auront aussi tendance à se repousser mutuellement, car ils ont tous deux une charge positive. D'autre part, les électrons et les protons seront attirés les uns aux autres à cause de leur différence de charges [1].

Tableau 1-1 : Eléments d'un atome

| Particules | Charge                           | Masse                             | Diamètre             |
|------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| proton     | + $1,62 \cdot 10^{-19} \text{C}$ | $1672 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$  | $10^{-15} \text{ m}$ |
| Electron   | - $1,62 \cdot 10^{-19} \text{C}$ | $0,911 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$ | Ponctuel             |
| Neutron    | 0                                | $1673 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$  | $10^{-15} \text{ m}$ |

**$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$**  Est la charge électrique élémentaire appelée plus simplement **charge élémentaire**. Toute charge électrique est un multiple de la charge élémentaire.

Toute charge électrique  $q$  est quantifiée, c'est à dire qu'elle n'existe que sous forme de multiples d'une charge élémentaire indivisible  $e$  :

$$q = N \cdot e \quad (1-2)$$

Où :  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$

En temps normal le nombre d'électrons d'un atome est égal au nombre de ses protons, l'atome a donc une charge neutre. Il suffit qu'un électron supplémentaire s'ajoute à ceux d'un atome pour que la charge de celui-ci soit négative. Réciproquement, enlever un électron à un atome rend sa charge positive [1].

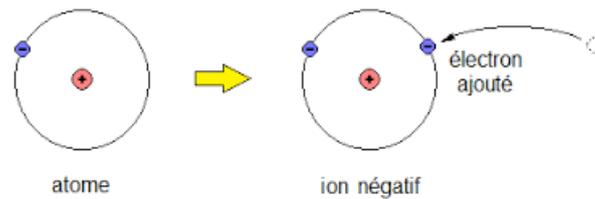


Figure1-4: Formation des ions

### 1.3. Historique

Quiconque a déjà vécu l'expérience désagréable d'une « décharge électrique » lors d'un contact avec un corps étranger connaît un effet électrostatique. Une autre manifestation de l'électricité statique consiste en l'attraction de petits corps légers (bouts de papier par ex.) avec des corps frottés (règles, pour continuer sur le même ex.). Ce type de phénomène est même rapporté par Thalès de Milet, aux alentours de 600 av. J.-C. [2]: il avait observé l'attraction de brindilles de paille par de l'ambre jaune frotté... Le mot électricité, qui désigne l'ensemble de ces manifestations, provient de « elektron », qui signifie ambre en grec. En effet les origines de l'électrostatique remontent à une époque très lointaine dans l'histoire de l'humanité. C'est ainsi que :

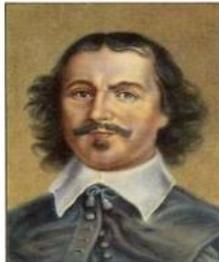
**Thalès de Milet** (-625, -547 av J.C), célèbre mathématicien et philosophe grec découvre l'électrisation en frottant un morceau d'ambre jaune avec une peau de chat [2].



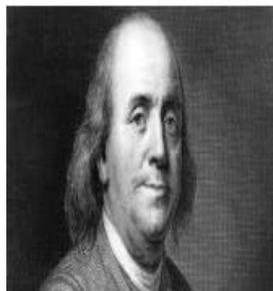
**William Gilbert** (1544-1603), un physicien et médecin anglais, (vers 1600) qui fut le médecin de la reine Elisabeth I, reprend les expériences des grecs et utilisa pour la première fois le mot Elektron pour qualifier les phénomènes associés à l'électricité [2].



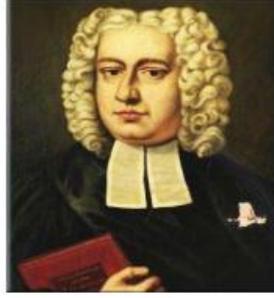
**Otto Von Guericke** (1602-1686) qui était alors le maire de la ville de Magdebourg en Allemagne, Il établit également que l'on peut électriser un corps non électrisé en les mettant en contact avec un autre corps électrisé [2].



En 1733, le chimiste français **Charles Du Fay** (1698-1739), examinant l'attraction et la répulsion des corps électrisés par frottement, distingue une électricité positive et une électricité négative (électricité résineuse, électricité vitreuse) [2].



**Benjamin Franklin** (1706-1790), inventeur du célèbre paratonnerre choisit arbitrairement de donner le signe + aux charges électriques portées par une tige en verre frottée et le signe – aux charges portées par l'ambre frottée [2].



## 1.4. Champ électrique

On désigne par **champ électrique** un champ créé par des particules électriquement chargées. Un tel champ permet de déterminer en tout point de l'espace la force électrique exercée à distance par ces charges. Dans le cas de charges fixes dans le référentiel d'étude, le champ électrique est appelé champ électrostatique. Lorsque les charges sont en mouvement dans ce référentiel, il faut y ajouter un champ électrique induit dû aux déplacements des charges pour obtenir le champ électrique complet.

Dans la vie courante, ces sources du champ électrique sont la plupart du temps des électrons, chargés négativement, ou des protons, chargés positivement.

Toute charge électrique crée dans l'espace qui l'entoure un champ électrique  $E$ , qui traduit l'action que subirait une hypothétique autre charge située dans cet espace. Une charge ponctuelle  $q$  située en point A crée ainsi en un point B de l'espace un champ  $E$  :

- Dont la direction est celle de la droite (AB)
- Orienté dans le sens [AB] si la charge est positive, dans le sens [BA] si la charge est négative

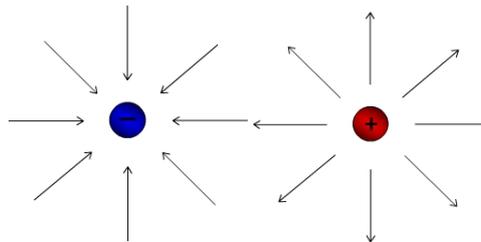


Figure1-5: Champ développé par des charges électriques

Considérons **dans le vide**, deux **charges** ponctuelles  $q_1$  et  $q_2$  **fixées** en A et B. Les deux charges **stationnaires**  $q_1$  et  $q_2$  exercent l'une sur l'autre une force proportionnelle à chacune des charges et inversement proportionnelle au carré de la

distance qui les sépare. La force électrostatique est dirigée suivant la droite qui joint les charges (figure 1-6). Elle attractive si les charges sont de signes contraires, répulsive lorsque les charges sont de même signe [1,3].

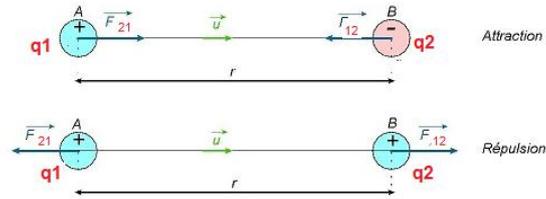


Figure 1-6: Force électrostatique

La loi de Coulomb :

$$F = F_{1/2} = F_{2/1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m : permittivité diélectrique du vide

r : distance (m)

F en newton (N)

Son unité est le volt par mètre (V/m) mais il peut aussi être exprimé en une unité équivalente qui est Newton par coulomb (N/C). Le champ électrique est défini en un point donné de l'espace comme le rapport de la force électrostatique F que subirait une hypothétique particule ponctuelle de charge q située en ce point, par la valeur de cette charge q [4]:

$$E = F : q \quad (1-3)$$

## 1.5. Phénomènes physiques pour la création de charges statiques

Un corps chargé électriquement est la manifestation d'une accumulation ou d'une perte de charges électriques. En effet, lorsqu'un corps est en équilibre, il est électriquement neutre. Ce corps sera électrisé lorsque quelques-uns de ses atomes auront soit gagné, soit perdu un ou plusieurs électrons rompant ainsi l'équilibre et la neutralité. On dit alors que ce corps possède une charge électrique.

Il y a de nombreux modes d'électrisation possibles [4, 5, 6] :

- par frottement (triboélectricité)
- par contact (transfert direct de charges)

- par ionisation (émissions d'ions sous haute tension)
- par influence (à l'aide d'un champ électrique)
- par clivage (fragmentation)
- par effet photoélectrique
- par émission thermoélectronique
- par ballon-électricité (agitation des particules dans un flux de gaz) etc.

Les phénomènes les plus répandus étant l'effet triboélectrique et l'influence. Dans le domaine industriel, la plus importante source de charges électrostatiques reste le phénomène de charge triboélectrique.

### 1.5.1. Effet triboélectrique

Il s'agit d'un transfert de charges électriques entre différents matériaux : lorsque deux matériaux électriquement neutres entrent en contact, il y a un transfert de charges qui aboutit à l'obtention de deux matériaux chargés, l'un positivement et l'autre négativement [5]. Si l'un des matériaux présente une conductivité faible, les charges ainsi générées resteront après séparation et de nouveaux contacts auront pour effet de produire de nouveaux transferts de charges. L'effet triboélectrique est en général associé à l'apparition de charges électriques après frottement entre deux matériaux mais sa définition s'étend souvent aux transferts de charges par contact, le frottement étant l'équivalent de contacts suivi de séparations, mais s'accompagnant de génération de chaleur et parfois de transfert de masse.

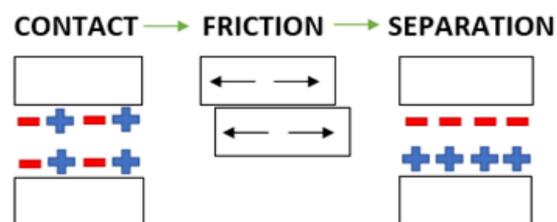


Figure1-7: Triboélectrisation

### 1.5.2. L'influence ou induction

Le phénomène d'influence correspond à l'apparition de charges électrostatiques sur un corps conducteur dû à la proximité d'un corps déjà chargé, sans qu'il y ait

contact entre les deux. En effet la présence du corps chargé induit un champ électrique à l'intérieur du corps influencé produisant ainsi des forces qui vont s'exercer sur les porteurs de charges libres ayant pour conséquence une redistribution de ceux-ci. La charge ainsi induite sera de signe opposé à la charge du corps influençant [7]. En fait, en présence d'un champ électrique le matériau se polarise, une charge surfacique induite dite de polarisation apparaît alors. Comme le montre la figure 1-8, il y apparaît autant de charges (+) que de charges (-).

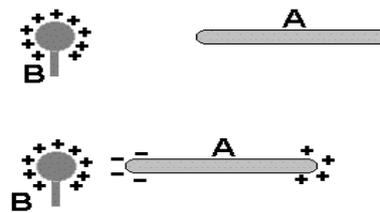


Figure1-8: Electrification par influence

### 1.5.3. Effet corona (ou effet couronne)

L'effet couronne correspond au phénomène d'ionisation de l'air proche d'un corps dont le potentiel électrique est très élevé. En effet, un corps dont le potentiel électrique est suffisamment élevé va permettre d'atteindre le potentiel seuil au-delà duquel l'air à proximité va devenir conducteur : c'est le potentiel disruptif de l'air. Le corps chargé provoque un champ électrique très intense dans son voisinage proche, de sorte qu'il se crée un plasma conducteur par ionisation de l'air [5,6,7].

Cet effet couronne est aujourd'hui exploité pour charger des matériaux isolants dans le but d'étudier l'évolution de cette charge. Cette méthode est pratique car elle permet de déposer de manière contrôlée une quantité de charge connue (sous forme d'ions) à la surface d'un corps.

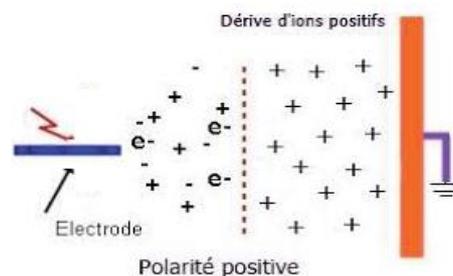


Figure1-9: Electrification par effet corona

#### 1.5.4. Effet photoélectrique

Quand un métal est exposé à la lumière, des électrons peuvent être éjectés de la surface du métal ; ce phénomène est appelé effet photoélectrique. On utilise également le terme photoémission, et les électrons éjectés du métal sont appelés photoélectrons. Les propriétés et le comportement des photoélectrons ne diffèrent pas de ceux des autres électrons. Le préfixe photo- indique simplement que les électrons ont été éjectés de la surface du métal par une lumière incidente [8].

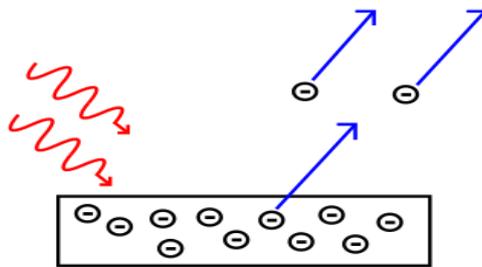


Figure1-10: Electrification par effet photoélectrique

#### 1.6. Problème posé par les charges électriques

Les charges formées à la surface d'un matériau ne peuvent pas s'écouler à la terre ou ne s'écoulent pas suffisamment vite, celles-ci continuent à s'accumuler et peuvent atteindre un niveau tel qu'elles provoquent une **décharge électrique** (par étincelles par exemple). Si cela se produit dans une **atmosphère explosive**, elles peuvent alors être à l'origine d'une inflammation.

L'électricité statique présente des risques d'incendie et d'explosion lors de la manipulation de liquides inflammables et pendant d'autres opérations à bord de bateaux-citernes, par exemple le nettoyage, le sondage, le jaugeage par le creux et l'échantillonnage de la citerne. Certaines opérations sont susceptibles de provoquer des accumulations de charge électrique qui peuvent être libérées soudainement sous forme de décharges électrostatiques comportant une énergie suffisante pour enflammer des mélanges inflammables de gaz de produit et d'air. Il n'existe bien sûr aucun risque d'inflammation à moins qu'un mélange inflammable ne soit présent. Trois étapes fondamentales conduisent à un risque électrostatique potentiel :

- Séparation de charge
- Accumulation de charge

- Décharge électrostatique

Ces trois étapes sont nécessaires pour un provoquer l'inflammation électrostatique d'une atmosphère inflammable.

L'électricité statique peut provoquer des accidents aux conséquences désastreuses, en particulier les **incendies** et **explosions**. Ces accidents sont à l'origine de blessures, souvent graves (brûlures), de décès ainsi que de dégâts matériels souvent importants (extension d'incendies à des installations avoisinantes...). Elle peut également avoir des effets physiologiques sur l'homme. Étant données les faibles énergies mises en jeu, une **décharge électrostatique** n'est pas dangereuse en soi pour une personne mais peut être pénible par sa répétition et avoir des conséquences graves si elle est à l'origine de chutes par exemple. La marche sur le sol et les frottements sur les sièges sont 2 des principales sources d'électricité statique.

L'arc électrique peut être, pour l'homme, à l'origine de brûlure plus ou moins graves et pour les installations d'incendies ou d'explosion. L'apparition de charges électriques engendre des phénomènes de répulsions et d'attractions qui ont pour conséquence de gêner les travaux industriels notamment dans les industries du papier, du plastique... Des poussières peuvent également être attirées, se déposant alors en une couche épaisse sur les parois des machines, et obstruant parfois certains conduits ou filtres. L'électricité statique peut également être une nuisance pour les industriels au niveau du produit fini. En effet, les constructeurs automobiles développent un effort particulier pour limiter les phénomènes de décharge électrostatique que peut ressentir l'utilisateur lors de la descente du véhicule.

Dans le domaine de la microélectronique [9], les composants réalisés sont de plus en plus miniaturisés, et par-là même, de plus en plus sensibles à de très faibles parasites. Une décharge électrostatique produit suffisamment d'énergie pour endommager gravement ces composants.

L'apparition de charges électriques engendre des phénomènes de répulsions et d'attractions qui ont pour conséquence de gêner les travaux industriels notamment dans les industries du papier, du plastique... Des poussières peuvent également être

attirées, se déposant alors en une couche épaisse sur les parois des machines, et obstruant parfois certains conduits ou filtres.

Pour évaluer l'énergie dégagée  $E$  par une étincelle et de manière approximative, dans quelques cas simples on peut procéder comme suit [10]:

$$E = 1/2 Q U \text{ (équivalent à la charge d'un condensateur)} \quad (1-4)$$

Où  $U$ : représente le potentiel du corps chargé,  
Soit :

$$E = 1/2 C U^2 \quad (1-5)$$

La charge  $Q$  est fonction des surfaces en contact (brouillard, poussières, pulvérisation, filtres), de la vitesse de séparation (courroie de transmission, vitesse de circulation de produit dans des canalisations, par exemple), de la catégorie des matériaux en présence (isolant, conducteur...).

La tension générée peut atteindre des valeurs susceptibles de créer des étincelles entre les surfaces mises en présence. Les exemples suivants rencontrés dans la pratique donnent un ordre de grandeur des phénomènes [11].

Tableau1-2: Les valeurs susceptibles de la tension

|   | Tensions en KV |
|---|----------------|
| Courroie de transmission à une vitesse de 3 à 15 m/s                | 20             |
| Surface libre d'un carburant dans un grand réservoir en remplissage | 80             |
| Rouleau de papier lors du déroulement à 10 m/s                      | 100            |
| Personne marchant sur un tapis (semelles caoutchouc)                | 150            |

## 1.7. Phénomènes de vieillissement

Les matériaux non conducteurs ont des conductivités si faibles qu'une fois qu'ils ont reçu une charge, ils la conservent sur une très longue période. Les non-conducteurs peuvent empêcher la perte de charge des conducteurs en agissant comme

des isolants. Les non-conducteurs chargés sont une source de préoccupation parce qu'ils peuvent générer des décharges en aigrette incendiaires vers un conducteur mis à la masse situé à proximité et parce qu'ils peuvent transférer une charge, ou induire une charge sur des conducteurs isolés voisins qui peuvent ensuite provoquer des étincelles [12,13].

L'accumulation de ces charges sur la surface ou dans le volume d'un matériau isolant peut engendrer un vieillissement prématuré qui, avec le temps engendre un claquage avec des conséquences très graves du fait que cette évolution n'est pas observable à l'œil nu.

## **1.8. Les décharges électriques**

Une décharge électrostatique se produit lorsque le champ électrostatique devient trop fort et que la résistance électrique d'un matériau isolant cède soudainement. Lorsque ceci se produit, le flux progressif et la recombinaison de charge associée à la relaxation est remplacé par une soudaine recombinaison de flux qui génère une chaleur locale élevée (par exemple une étincelle) qui peut être une source d'inflammation si ceci se produit dans une atmosphère inflammable [14,15].

### **1.8.1. Décharges partielles**

Les décharges partielles dans un diélectrique se produisent le plus souvent dans une cavité gazeuse contenue dans le volume de l'isolant : la permittivité du gaz étant très inférieure à celle du matériau environnant, un champ électrique aux bornes de la cavité est beaucoup plus important que celui existant au sein de l'isolant apparaît. Si ce champ excède la rigidité diélectrique du gaz contenu dans la cavité, une décharge partielle a lieu [16].

## Décharges partielles (DP)

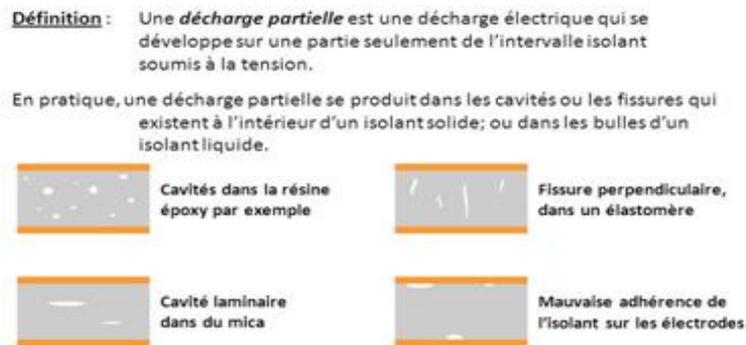


Figure1-11: Décharges partielles

### 1.8.2. Classification de décharges partielles

Plusieurs classifications de décharges partielles ont été proposées. Ils varient suivant le critère de sélection utilisé. Ainsi par exemple, Kreuger [16] classe les décharges en fonction de leur localisation et définit ainsi quatre catégories Figure :

#### Les décharges « internes »:

Elles apparaissent aux endroits où la rigidité diélectrique est faible, par exemple, une cavité dans un isolant solide (figure .a).

#### Les décharges « de surface » :

Ce sont des décharges prenant naissance au point « triple » métal / isolant / air lorsqu'il y a un défaut (goutte d'eau, pollution, poussière...) et se développant en surface de l'isolant. Elles se manifestent lorsqu'un champ électrique tangentiel important existe à la surface d'un diélectrique (figure .b).

#### Les décharges « couronne » :

Elles prennent naissance dans le matériau aux endroits où le champ électrique est très renforcé (par exemple par un effet de pointe). La décharge est restreinte à une zone réduite entourant la pointe (figure .c) [17,18].

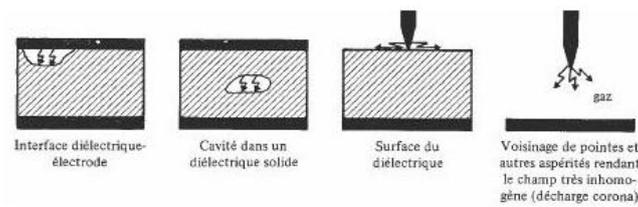


Figure1-12: Classification des décharges partielles

L'accumulation de ces charges sur la surface ou dans le volume d'un matériau isolant peut engendrer un vieillissement prématuré qui, avec le temps engendre un claquage avec des conséquences très graves du fait que cette évolution n'est pas observable à l'œil nu.

Un scénario classique de vieillissement électrique est proposé ci-dessous selon les théories bien connues sur lesquelles nous appuierons pour expliquer les différentes phases de ce processus [19].

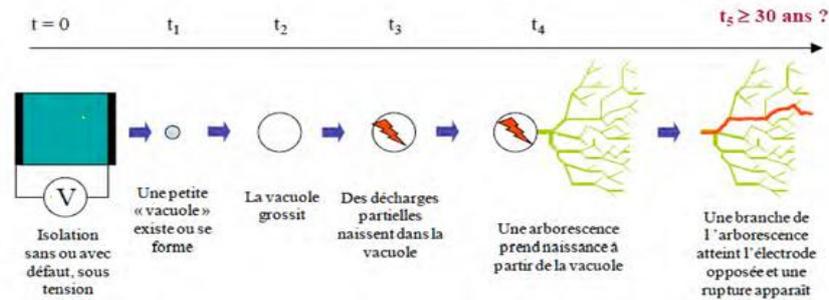


Figure1-13: Schéma représentant le scénario de vieillissement

L'arborescence ( $t_4$ ) est la dernière phase du vieillissement électrique. C'est un phénomène lent qui se propage à partir d'un point faible du matériau ou bien d'une électrode jusqu'à l'électrode opposée. Les canaux d'arborescence sont des canaux creux, sièges de décharges électriques. L'apparition de la première branche peut être due soit à un défaut concentrant le champ électrique, soit à l'existence d'une cavité gazeuse interne à l'isolant, siège de décharges partielles ( $t_3$ ). Les électrons générés dans ces décharges ont suffisamment d'énergie pour briser des chaînes macromoléculaires sur les surfaces internes de la vacuole, ( $E > 15\text{eV}$ ). Les processus de dégradation impliquent des modifications de nature physique et chimique avec des conséquences sur les propriétés électriques locales. Ces phénomènes vont se cumuler

dans le temps pour donner lieu à la première branche de l'arborescence (sans doute par formation d'une zone plus conductrice susceptible de concentrer la contrainte en champ) [20].



Figure1-14: Phénomène d'arborescence

Les phénomènes d'arborescences sont des facteurs précurseurs du vieillissement du diélectrique. Ils constituent une dégradation permanente des matériaux et sont étroitement associés au claquage et à la destruction de tout l'appareillage électrique.

Les arborescences sont des compositions filamenteuses ramifiées constituées de micro canaux creux sous forme d'arbre susceptibles de se disperser sur des distances de plusieurs millimètres en volume et en sub-surface d'isolants [21,22].

Ce phénomène destructeur peut apparaître sans qu'on le sache dans l'isolation et évoluer pendant plusieurs années jusqu'à la destruction comme le montre la figure suivante sur une section de l'isolation d'un câble.

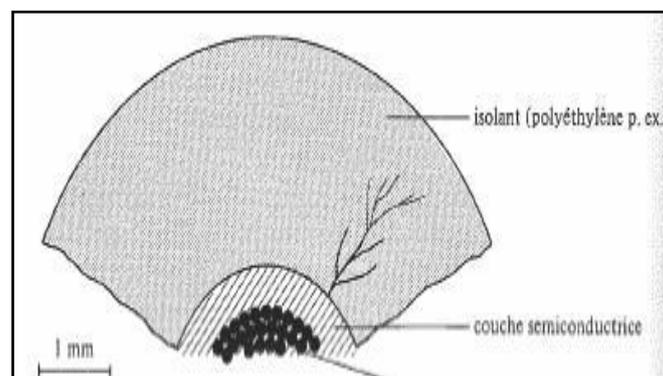


Figure1-15: câble détérioré

## 1.9. Prévention des risques incendie-explosion

Afin de mettre en œuvre les mesures de prévention adaptées, il faut au préalable identifier les atmosphères explosives susceptibles d'apparaître et les types de décharges électrostatiques pouvant se produire, et évaluer leur pouvoir d'inflammation [22,23].

Ces mesures dépendent de la nature de l'activité de l'entreprise, les matières premières utilisées, la conception et l'implantation du matériel de fabrication et de manutention. Les accidents électriques peuvent être provoqués par toutes les catégories de tensions rencontrées sur le lieu de travail. Chaque secteur industriel est caractérisé par un ensemble de conditions qui sont susceptibles de provoquer un contact direct ou indirect, unipolaire ou bipolaire, un arc ou une tension induite et, en fin de compte, des accidents. Sur le lieu de travail, compte tenu des hautes tensions qui sont fréquentes, un arc risque également de se former entre une partie active à haute tension et des travailleurs qui s'en approchent trop. Des situations professionnelles spécifiques peuvent également affecter les conséquences d'accidents électriques: les travailleurs peuvent par exemple tomber ou réagir de façon inappropriée lorsqu'ils sont surpris par un choc électrique qui, en d'autres circonstances, serait tout à fait inoffensif [23].

Les spécialistes en matière d'électricité distinguent deux catégories de contacts électriques: les contacts directs, impliquant un contact avec des parties actives sous tension, et les contacts indirects, impliquant un contact avec une masse. Chaque catégorie nécessite des mesures préventives fondamentalement différentes.

Les risques liés à l'électricité, pour l'homme, sont de différentes natures. Il s'agit principalement des risques d'électrisation, d'électrocution et de brûlure. Ces risques ont pour origines des contacts directs ou indirects et des arcs électriques.

## 1.10. Problématique

Si l'électricité statique était déjà connue des Anciens par ses manifestations, elle n'a cependant fait l'objet, à ce jour, que de rares études ayant des incidences pratiques en situation industrielle où elle n'apparaît le plus souvent que comme un phénomène

parasite secondaire. Pourtant elle fait largement partie de notre vie quotidienne par ses applications : photocopie, peinture, dépoussiérage, etc.

Suite a cette synthèse bibliographique, nous remarquons l'importance des charges statiques et leurs effets que ce soit sur l'être humain ou les installations industrielles. Par conséquent, notre travail consiste à étudier le dépôt de charge sur la surface d'un matériau isolant et essayer de les neutraliser et éliminer leur effets nocifs par un procédé de balayage alternatif.

### **1.11. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de présenter les problèmes liés aux charges statiques et une synthèse bibliographique les phénomènes électrostatiques. De plus, nous avons donné un certain aperçu historique sur les charges électriques, leur évolution ainsi que leur importance dans pratiquement tous les domaines technologiques. Nous avons aussi décrit dans ce chapitre l'objectif de notre travail et notre problématique.

# **Chapitre II: Phénomènes liés aux charges statiques**

## 2.1. Introduction

L'électricité statique est souvent perçue comme une nuisance. Elle est à l'origine d'explosions de silos de céréales et de tanks pétroliers, du vieillissement de matériaux diélectriques, du dysfonctionnement de circuits électroniques et de multiples désagréments pour chacun d'entre nous dans la vie quotidienne. Le problème principal lié à l'étude de l'électricité statique est la grande difficulté de mesurer et d'atténuer le phénomène. Dans ce chapitre, nous allons étudier l'influence des charges statiques sur les polymères et la méthode de déclin de potentiel de surface.

## 2.2. Etat de charge d'un polymère

En électrostatique, la réponse des matériaux à la charge électrique est complexe et reste un sujet de recherche. La caractérisation de ces matériaux est bien loin de pouvoir se résumer à un paramètre ou à deux, en occurrence, la permittivité et la conductivité. Les phénomènes de surface sont déterminants pour la génération ou l'injection de la charge dans l'isolant. La charge d'espace peut se manifester sous l'effet du champ, du rayonnement ou du frottement [24].

Les matériaux isolants trouvent des applications dans un grand nombre de dispositifs de production, de transport, de distribution et d'utilisation de l'énergie électrique. Ils ont joué un rôle prépondérant dans les progrès faits par les matériels électriques. Ils constituent sans aucun doute les facteurs clés du développement des matériels électrotechniques de demain.

Les matériaux utilisés aujourd'hui sont extrêmement nombreux et variés. Le choix et l'emploi posent les problèmes les plus délicats, il doit répondre à un processus complexe. Le plus difficile à maîtriser est non seulement l'interaction de toutes les contraintes que peuvent influencer sur la tenue du système d'isolation mais aussi de l'impact sur l'environnement et la sécurité des biens et des personnes [25].

Les contraintes auxquelles est soumis un système d'isolation sont :

**2.2.1. Contraintes électriques**

Champ électrique, charge d'espace, décharge partielle, arborescence électrique, etc....

**2.2.2. Contraintes thermiques**

Echauffement des conducteurs par effet joule et par effet de Foucault, pertes magnétiques (transformateur), pertes diélectriques, etc....

**2.2.3. Contraintes mécaniques**

Effort sur les conducteurs, forces dues aux mouvements (machines tournantes), vibrations, forces de charge (isolateur de ligne), etc....

**2.2.4. Contraintes climatiques**

Rayonnement solaire, intempéries, pollutions (marine, industrielle), humidité, pluie, gel, air, ozone, etc....

**2.2.5. Contraintes radiatives**

Dans les applications nucléaires, spatiale, médicale, résistants aux rayonnements ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , x), etc.

**2.2.6. Contraintes environnementales**

Impact sur l'environnement en termes de rejet de toute nature (gazeux, solides, liquides), la toxicité des produits, traitement en fin de vie (recyclage), etc....

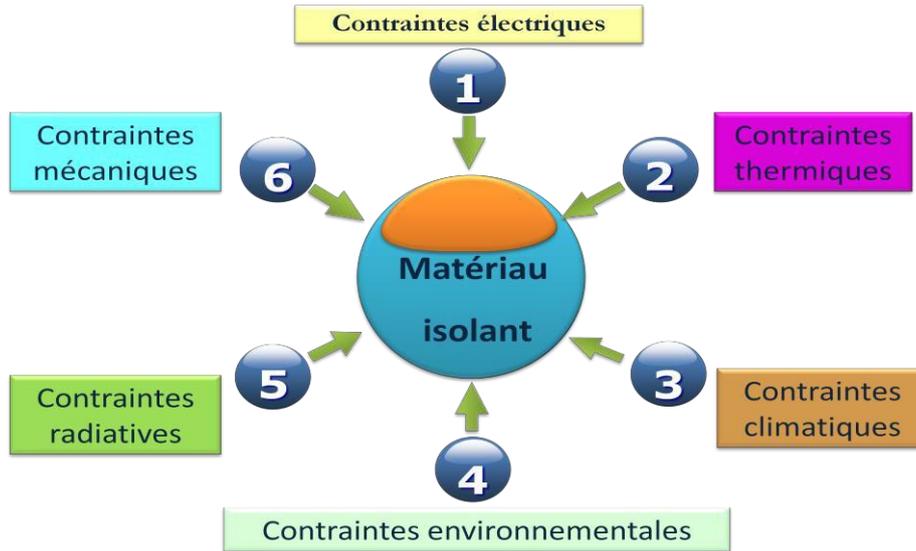


Figure2-1: Différentes contraintes

Les matériaux isolants se présentent selon leurs états sous diverses formes (solides, liquides, gazeux). On les regroupe en deux catégories principales selon leur nature : les matériaux organiques et les matériaux minéraux ou inorganiques [27].

Les matériaux naturels ou synthétiques utilisés jusqu'alors comme isolants électriques ont été très largement supplantés par des produits issus de la pétrochimie, en général des polymères. La possibilité de produire simplement les formes les plus variées au moindre coût a été pour beaucoup dans leur succès, ils sont également des matériaux qui présentent les pertes les plus faibles et les tensions de claquages les plus élevées.

### 2.3. Polymères

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » parties. Il désigne communément une famille, toujours plus nombreuse, de produits constitués de macromolécules caractérisées par la répétition du même groupe d'atomes appelé motif constitutif (ou monomère, du grec monos : un seul ou une seule, et meros : partie). Ce dernier diffère d'un polymère à l'autre [22].

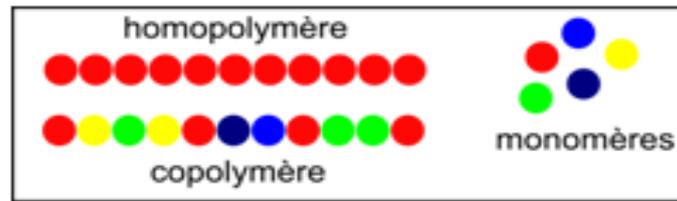


Figure2-2: Structure d'un polymère

Les polymères peuvent être divisés en polymères thermoplastiques, polymères thermodurcissables ou polymère élastomères.

### 2.3.1. Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des polymères qui se déforment et sont façonnables sous l'action de la chaleur. Cette propriété permet leur recyclage. On trouve aujourd'hui de nombreux types de thermoplastiques offrant une vaste gamme de propriétés intéressantes. On peut les rendre aussi souples que le caoutchouc, aussi rigides que le métal et le béton, ou aussi transparents que le verre, pour un usage dans de nombreux produits de tuyauterie et autres composants. Certains d'entre eux peuvent supporter des températures atteignant 315 °C. D'autres conservent leurs propriétés jusqu'à -73 °C. Ils ne s'oxydent pas, ont une haute résistance à la corrosion et sont d'excellents isolants thermiques et électriques. De par leur légèreté, leur haute résistance mécanique et leur résistance aux effets de l'environnement, les thermoplastiques constituent un matériau idéal pour les installations de tuyauteries industrielles, commerciales et d'habitations [21,22].

### 2.3.2. Les thermodurcissables

Les polymères thermodurcissables prennent leur forme définitive au premier refroidissement, la réversibilité est impossible.

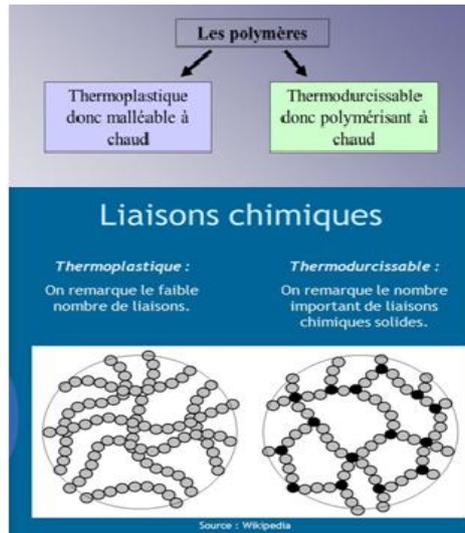


Figure2-3: Classification des polymères

L'utilisation des polymères dans l'isolation électrique est aujourd'hui généralisée. La facilité de transformation, d'utilisation de ces matières en font souvent la solution idéale pour de nombreux problèmes d'isolations [26,27].

Ceci a suscité un effort de recherche concernant les propriétés électriques de ces matériaux pour plusieurs raisons. D'une part, il fallait comprendre l'origine des nuisances électrostatiques et de les réduire d'autre part, une meilleure compréhension des phénomènes responsables s'est avérée nécessaire pour redéfinir des matériaux très performants, présentant des tensions de ruptures élevées et des pertes diélectriques réduites et satisfaisantes à des conditions d'utilisation de plus en plus contraignantes.

Toutes les applications en électrotechnique utilisent des systèmes d'isolation qui sont souvent le facteur limitant des performances, en particulier pour la durée de vie ou la tenue en tension.

Plusieurs travaux sur les caractéristiques des isolants des isolations, leur amélioration ou la prédiction de leur durée de vie ont été menées depuis plusieurs années.

Le problème du vieillissement des polymères est aujourd'hui un enjeu industriel important. Les contraintes électriques chimique ou mécanique font que le problème de vieillissement dépend de plusieurs facteurs et selon les caractéristiques du matériau, il n'est jamais fonction d'un unique paramètre. Dans le domaine du génie électrique, les

contraintes électrothermiques parfois couplées à des contraintes climatiques peuvent entraîner un vieillissement prématuré du matériau pouvant altérer les propriétés isolantes. La compréhension de l'évolution de ce processus permettra de développer des matériaux pour des tenues en tensions plus élevées. En d'autres termes, il est important de pouvoir analyser le mode d'écoulement de charges électriques présentées sur la surface et dans le volume de l'isolant [27].

#### **2.4. Problème posés par les charges statiques**

Depuis plus de 30 ans, le nombre d'accidents de travail ainsi que les accidents graves dus aux charges et particulièrement aux décharges électriques augmentent régulièrement. Toutefois, ces dernières restent particulièrement graves. Chaque année, une dizaine de travailleurs meurent électrocutés. Les exigences des consommateurs d'énergie électrique tant en quantité qu'en qualité poussent les producteurs d'énergie à produire de plus en plus d'énergie particulièrement dans le domaine de la haute tension.

#### **2.5. Evolution physique des décharges électriques**

La décharge électrique s'établissant dans un espace gazeux soumis à un potentiel, nécessite la présence de charges libres dans le milieu : électrons germes. Ces électrons libres présents dans le milieu gazeux, gagneront de l'énergie sous l'action du champ électrique externe et en perdent sous l'effet des collisions [28].

Nous allons donner quelques indications sur les sources possibles d'électrons germes, nécessaires à l'amorçage de la décharge :

##### **2.5.1. Rayonnement cosmiques ou radioactivité naturelle**

Sous l'effet de l'irradiation par rayonnements cosmiques ou par les processus de radioactivité naturelle, 7 à 20 électrons par  $\text{cm}^3/\text{sec}$  sont produits dans l'air à la pression atmosphérique [29].

##### **2.5.2. Détachement d'électrons des ions négatifs**

C'est le processus principal de production d'électrons à partir d'ions négatifs. Ces derniers peuvent préexister dans l'espace inter-électrodes, c'est le cas de la présence

des impuretés telles que O<sub>2</sub> et les pourvoyeurs principaux en électrons germes seront les ions négatifs O<sub>2</sub><sup>-</sup> liés aux impuretés [30].

## 2.6. Avalanche électroniques

Les DP évoluent généralement vers un streamer. Le processus physique du streamer dans les gaz est un phénomène d'ionisation localisée et très rapide dont les électrons peuvent atteindre une vitesse d'environ  $2 \cdot 10^7$  cm/s (vitesse des ions  $2 \cdot 10^5$  cm/s) qui résulte d'une avalanche [26] de la forme suivante figure..:

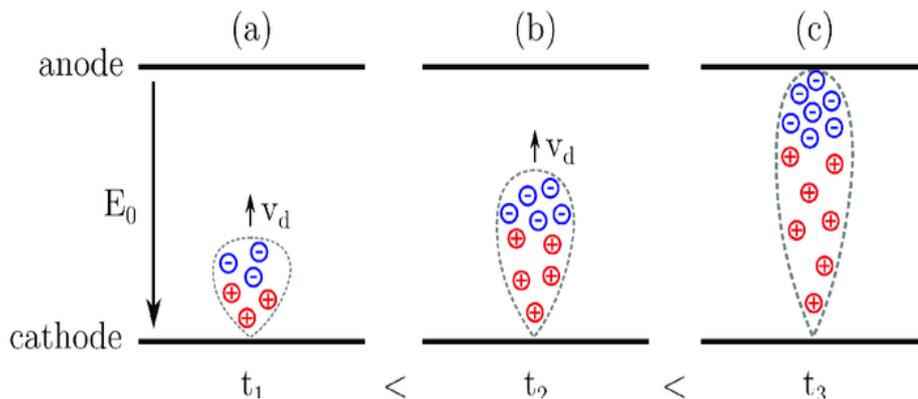


Figure2-4: Avalanche électronique

## 2.7. Dégradation des matériaux isolants

Les effets des décharges partielles dans installations haute tension comprenant des matériaux isolants solides peuvent être dramatiques, aboutissant à la destruction complète (par explosion) de l'installation. Ces décharges entraînent des dommages irréversibles, autant physiques que mécaniques, des matériaux isolants [31].



Figure2-5: Câble endommagé

Ces dommages sont causés par l'énergie libérée par les décharges, sous forme d'électrons, d'ions ou d'ultraviolets, par la naissance d'ozone attaquant les parois des cavités, la libération de gaz sous haute pression et des réactions chimiques qui ont tendance à augmenter la conductivité de l'isolant autour de la cavité, tout autant de phénomènes qui tendent à accélérer ainsi qu'à étendre la dégradation du matériel.

La dégradation des matériaux isolant due aux décharges électriques qui peut engendrer des mécanismes d'arc et de claquage peut être décrite par le schéma général suivant :

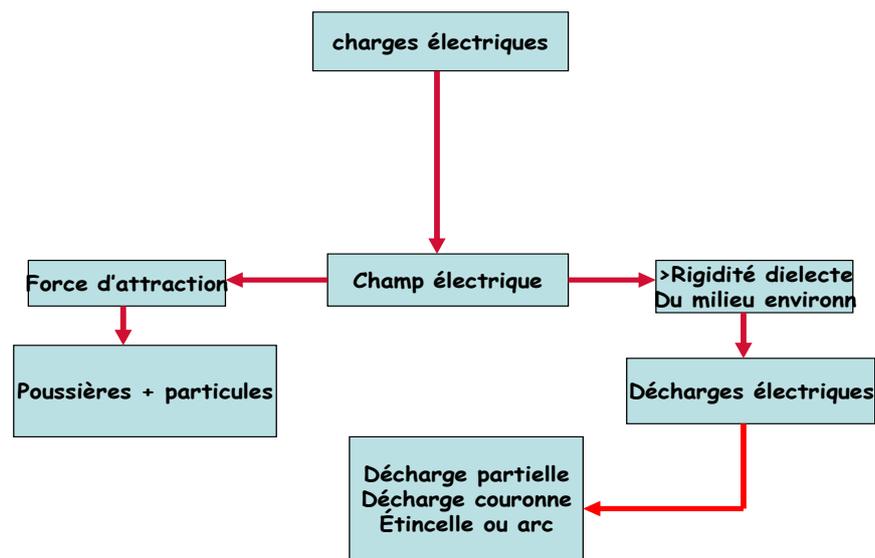


Figure2-6: Effet des charges électriques

Dans le domaine de la microélectronique, les composants réalisés sont de plus en plus miniaturisés, et par-là même, de plus en plus sensibles à de très faibles parasites.

Une décharge électrostatique produit suffisamment d'énergie pour endommager gravement ces composants. Les Décharges électrostatiques vont engendrer dans des circuits électroniques des dommages sur la continuité des connexions figure 2-7.

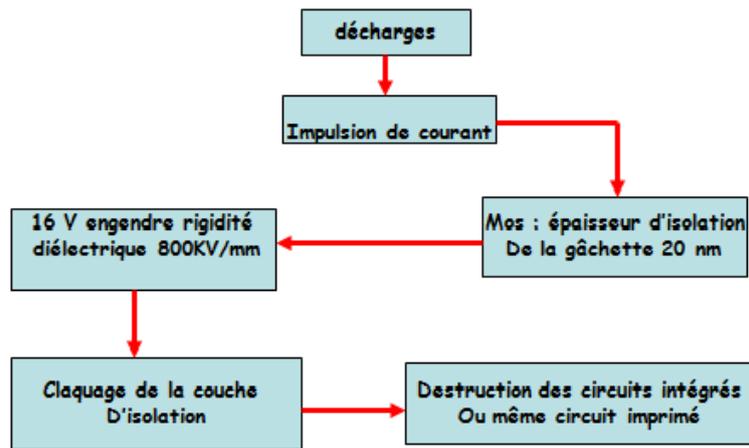


Figure2-7: Effet des décharges dans le domaine électronique

L'évolution des charges statiques sur la surface d'un matériau isolant que ce soit dans un moteur électrique ou une composante électronique se traduit généralement sous deux formes [22]

- L'injection des charges dans le volume du matériau
- Une conduction surfacique

D'autres phénomènes peuvent engendrer l'évolution des charges statiques sur la surface de l'isolant mais généralement ils ne sont pas prédominant et se superposent à l'injection ou à la polarisation ou la conduction surfacique figure 2-8:

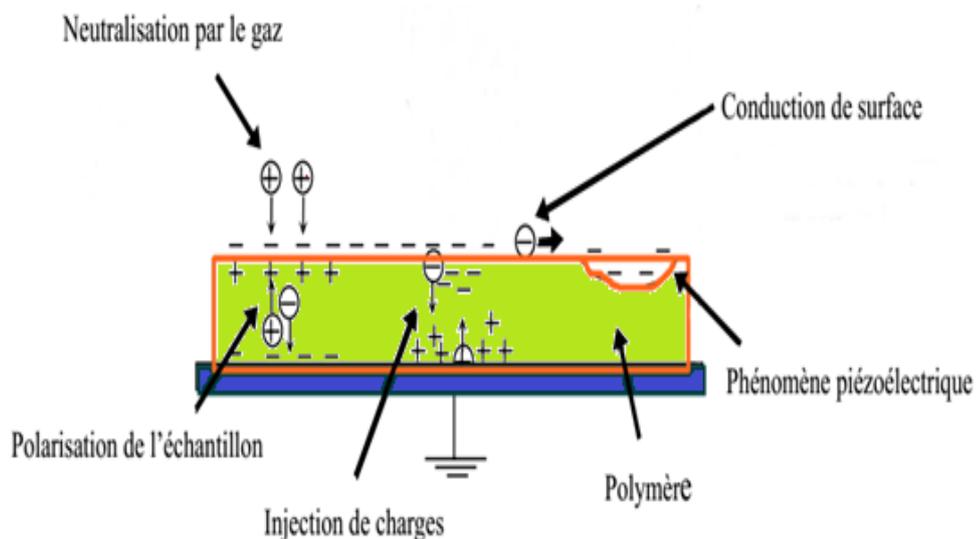


Figure2-8: Phénomène dues au dépôt de charges

Tous ces phénomènes [19] peuvent agir en même temps et devront être considérés pour interpréter le déclin. Dans certaine littérature, on peut noter la présence prédominante de trois interprétations dans la littérature : la conduction de surface, la conduction de volume et le phénomène de polarisation des matériaux diélectriques. Depuis les premières mesures sur l'évolution du DPS, bon nombre de travaux ont été réalisés, dans ce sens.

Ceci engendre automatiquement une détérioration des propriétés de l'isolant voire même un claquage et la détérioration de l'appareil Figure 2-9 :

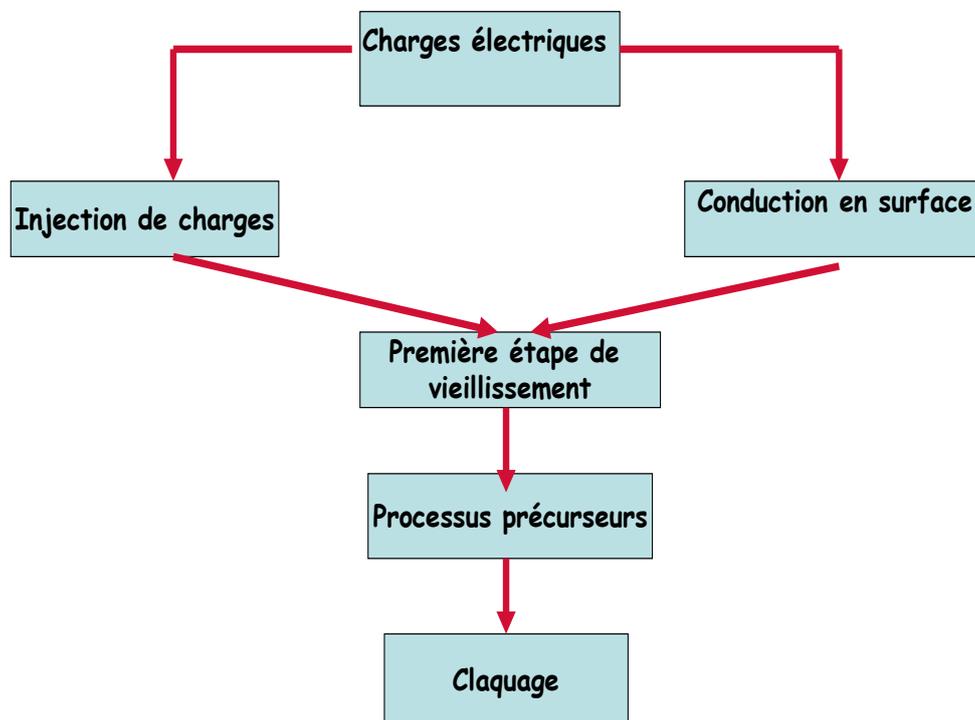


Figure2-9: Effet des charges sur la surface d'un isolant

## 2.8. Enjeu industriel

De nos jours, l'industrie de la micro et nano électronique représente un marché de plus de 291 milliards de dollars avec une croissance estimée à 4,2 % [31] et est donc soumise à de fortes concurrences. Les questions de rendement y sont donc prépondérantes et les sources de pertes attentivement analysées. La chose importante qu'il faut retenir c'est qu'une grande part des défaillances relevées est imputée aux décharges électriques. Différentes études ont été menées depuis une vingtaine d'années pour quantifier ce phénomène et la dernière en date établit un constat édifiant figure :

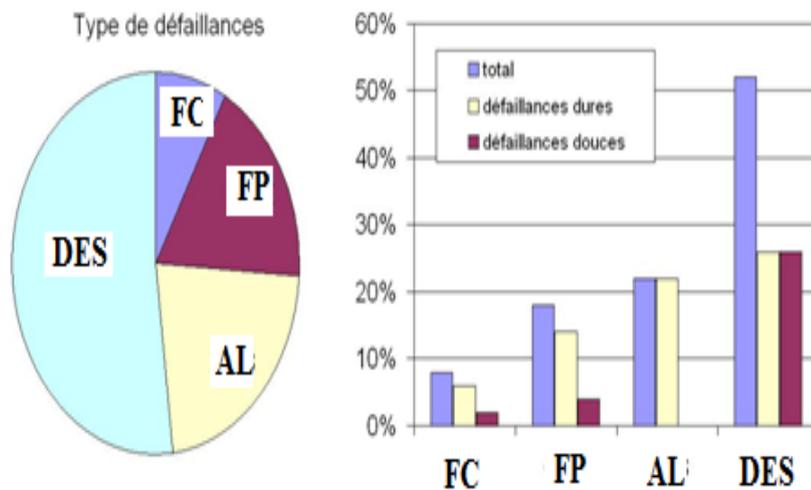


Figure2-10: Etude statistique des défaillances électriques

**Avec :**

DES : Décharges électrostatiques

FC : fixation des câbles

FP : Fixation de la puce

AL : Alimentation

## 2.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous étudier le phénomène de DPS, ses avantages et le principe d'utilisation. Nous avons expliqué le principe de dépôt de charge sur le matériau isolant et les différents mécanismes d'évolution des charges sur la surface du diélectrique.

# **Chapitre III: Dispositif expérimental**

### 3.1. Introduction

Le dispositif expérimental utilisé dans nos travaux a été réalisé dans le laboratoire de Génie Electrique et de matériaux diélectriques (LGEG) de l'Université de Guelma, afin de permettre de quantifier par une mesure les niveaux de chargement électrostatique des isolants et des polymères en particuliers. Cette technique qu'on appelle « déclin de potentiel de surface » (DPS) est une méthode d'investigation des propriétés électriques des matériaux isolants. Son intérêt réside essentiellement dans sa simplicité et sa puissance dans la caractérisation de l'aptitude d'un matériau à évacuer une charge électrique déposée à sa surface. La deuxième partie de notre travail consiste à utiliser la méthode de neutralisation des charges statiques par un balayage alternatif.

### 3.2. Méthode de DPS

La technique de déclin de potentiel de surface (DPS) est une méthode d'investigation des propriétés électriques des matériaux isolants. Son intérêt réside essentiellement dans sa simplicité et sa puissance dans la caractérisation de l'aptitude d'un matériau à évacuer une charge électrique déposée à sa surface.

Le principe de la méthode du DPS est de suivre en fonction du temps l'évolution du potentiel de surface d'un échantillon préalablement chargé par décharge couronne. La mesure du potentiel en surface de l'échantillon au cours du temps à partir d'une sonde électrostatique à condensateur vibrant permet de fournir des informations sur le mode d'écoulement (surfacique et/ou volumique) des charges déposées et sur la mobilité de ces charges.

La technique du DPS comprend pour son fonctionnement deux phases : une phase de charge par décharge couronne et une phase de mesure de potentiel en surface qui se fait sans aucun contact avec le matériau.

#### 3.2.1. Poste de charge

Le poste de charge, figure3-1 est constitué d'un générateur (Spellman) de tension continue stabilisée entre 0 et  $\pm 20$  KV à polarité réversible commandé sur la pointe

(fil). L'électrode plane étant connectée à la terre. A l'aide d'un micro-ordinateur on fixe les paramètres de la décharge (temps et valeur de la tension appliquée sur la pointe ou le fil). La décharge couronne est obtenue à partir d'une tension seuil appliquée sur le fil (de l'ordre de -7 kV).

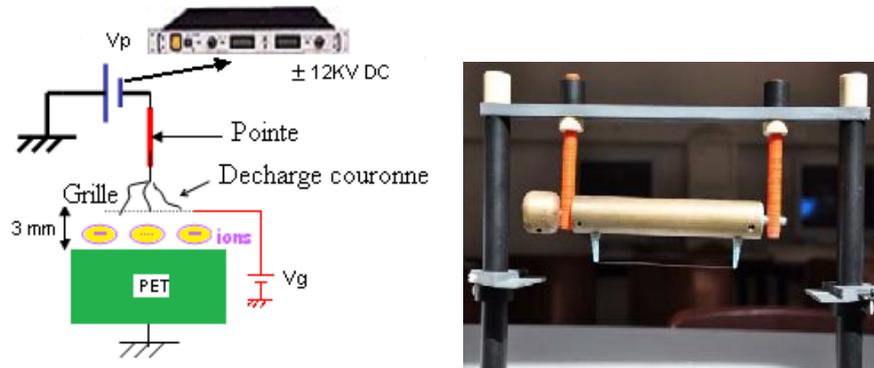


Figure3-1: Poste de charge

Une grille répartitrice reliée à une alimentation stabilisée HT est intercalée entre la pointe et la surface de l'échantillon. Son intérêt est double, d'une part le dépôt de charges s'effectue d'une manière homogène sur la surface de l'échantillon et d'autre part, elle nous permet de contrôler expérimentalement le potentiel initial  $V_0$  de la charge déposée sur la surface du matériau.

### 3.2.2. Poste de mesure

Le poste de mesure est constitué d'une sonde électrostatique reliée à un voltmètre électrostatique digital de type Trek figure3-2.



Figure3-2: Poste de mesure

La mesure du potentiel de surface implique l'usage de sonde de mesure qui fonctionne selon le principe de condensateur vibrant. La vibration d'un petit volet à l'intérieure de la sonde fait varier la capacité entre ce volet et la surface. Le principe de mesure est d'annuler en permanence ce courant en faisant varier le potentiel de la sonde et du volet, la sonde est donc au même potentiel que la surface, ce qui permet de perturber le moins possible l'échantillon.

Le principe de la méthode du DPS est de suivre en fonction du temps l'évolution du potentiel de surface d'un échantillon préalablement chargé par décharge couronne. La mesure du potentiel en surface de l'échantillon au cours du temps à partir d'une sonde électrostatique à condensateur vibrant permet de fournir des informations sur le mode d'écoulement (surfactive et/ou volumique) des charges déposées et sur la mobilité de ces charges.

### 3.2.3. Principe du voltmètre électrostatique

Deux matériaux **A** et **B** mis en contact directement ou par l'intermédiaire d'un autre matériau, ils se chargent d'électricité de polarité opposée.



Figure3-3:Deux matériaux mis en contact

Si on déplace **A** par rapport à **B** la capacité du condensateur diminue et une charge électrique apparaît dans le circuit extérieur du condensateur.

$$Q = C \times V \quad (3-1)$$

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{l} \quad (3-2)$$

$$\frac{dQ}{dt} = I(t) = V \times \frac{dC}{dt} \quad (3-3)$$

Le voltmètre électrostatique possède un petit volet à l'intérieur de la sonde vibrant sinusoidalement fait varier la capacité entre ce volet et la surface chargée.

$$C(t) = \frac{\varepsilon \times S}{D_0 + D_1 \sin(\omega t)} \quad (3-4)$$

Un courant électrique  $I(t)$  étant induit. Ce courant est proportionnel à la valeur du potentiel électrique présent sur la surface mesurée.

Le signal du courant est amplifié et démodulé en utilisant un circuit démodulateur sensible à la phase figure3-4, pour produire un potentiel  $V_p$  directement proportionnel à l'amplitude du courant.

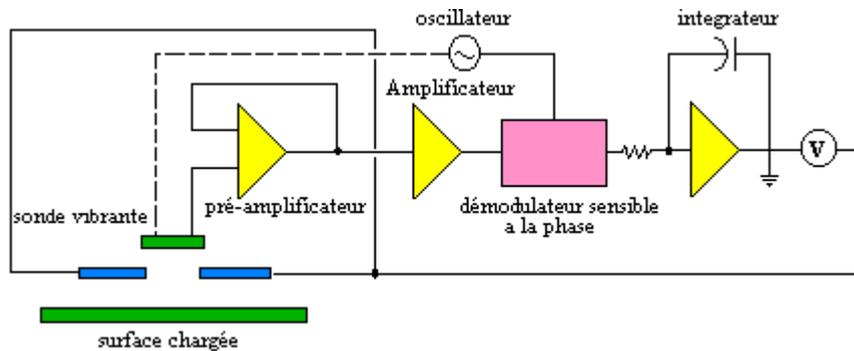


Figure3-4: Voltmètre électrostatique

Le principe de la mesure est d'annuler en permanence ce courant en faisant varier le potentiel de la sonde. Par conséquent, ce système asservi le potentiel de la surface. Il suffit donc de mesurer le potentiel appliqué à la sonde pour connaître celui de la surface.

### 3.3. Dispositif expérimental

Le stand utilisé se trouve au niveau du Laboratoire de Génie électrique de l'université de Guelma (LGEG).

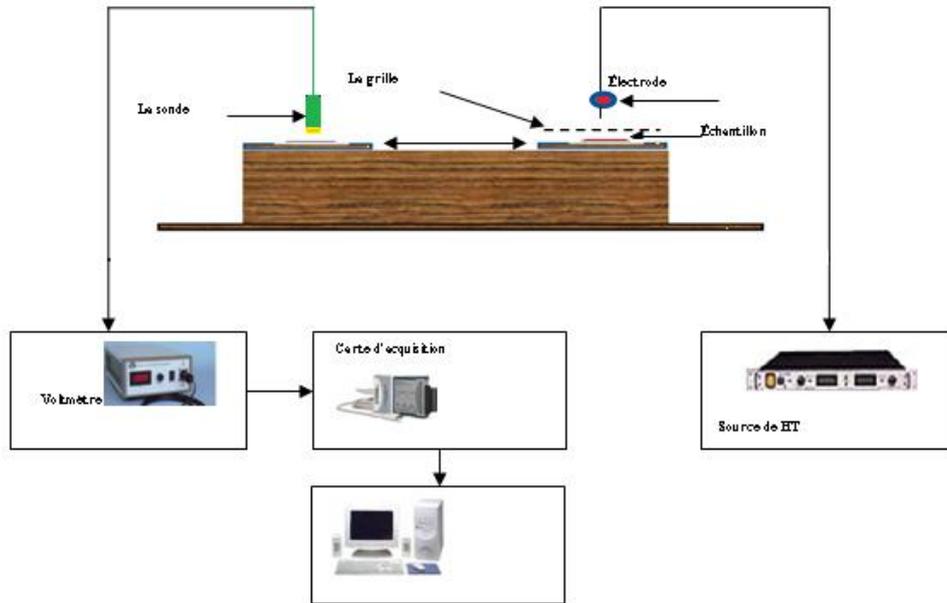


Figure3-5: Dispositif expérimental

Le dispositif est composé d'un tapis roulant muni de portes échantillons en laiton, un poste de charge et un poste de mesure. Le montage dispose d'un système de commande et de mesure piloté par un micro-ordinateur. Un système d'acquisition de données est également développé pour la lecture et la sauvegarde de mesures de  $V(t)$  sous forme de fichier de données.



Figure3-6: Photo du dispositif expérimental

L'échantillon à étudier est placé sur un porte échantillon et se trouve initialement sous le poste de mesure. Dès qu'on démarre la manipulation, un moteur pas à pas fait déplacer le tapis et le porte échantillon jusqu'à amener l'échantillon au poste de

charge ( $t = 3s$ ), la surface de l'échantillon subit un dépôt de charge par effet couronne ( $t = 1s$ ) et se déplace vers le poste de mesure ( $t = 3s$ ).

### 3.3.1. Processus de chargement

La décharge couronne désigne l'ensemble des phénomènes liés à la modification de la conductivité d'un gaz à proximité d'un conducteur de faible rayon de courbure, porté à une tension assez élevée dont le champ électrique environnant est intense, mais non disruptif. Cette conductivité est due aux phénomènes d'ionisation intense de l'air au voisinage immédiat du fil qui est l'élément ionisant de l'électrode. Le principe de chargement est basé sur l'ionisation de l'air au voisinage du fil. Les charges créées par la décharge couronne sont accélérées vers la surface libre de l'échantillon. Au fur et à mesure que les charges s'accumulent à la surface de l'échantillon, le potentiel de surface augmente. Grâce à cette technique il est possible de déposer des charges aussi bien positives que négatives selon la polarité du système de décharge.

A cause du champ électrique élevé proche de la pointe, l'air qui normalement est isolant, devient ionisé et les ions résultants (positifs ou négatifs selon la polarité de la pointe) sont dérivés vers l'électrode passive à faible champ. Le seuil de la décharge couronne dépend de l'existence d'un électron libre d'énergie suffisante pour déclencher le phénomène d'avalanche responsable de l'ionisation du gaz. Les électrons sont des agents ionisants effectifs parce que lors des chocs ils transfèrent une partie de l'énergie acquise du champ électrique aux molécules de l'air. Les charges créées par ionisation sont accélérées vers la grille par le champ électrique  $E_{pg}$  entre la pointe et la grille qui dépend de la différence de potentiel ( $V_p - V_g$ ). Une fois arrivées au niveau de la grille, un autre champ électrique  $E_{gs}$  dépendant de la différence de potentiel ( $V_g - V_s$ ) ( $V_s$  potentiel de surface de l'échantillon) fait accélérer ces charges vers la surface libre de l'échantillon. Ce dernier se chargera donc par le potentiel de la grille de même polarité que celui de la pointe. Au fur et à mesure que le processus de chargement continue, le potentiel de la surface  $V_s$  augmente et le champ électrique  $E_{gs}$  diminue jusqu'à devenir nul lorsque le potentiel de surface  $V_s$  atteint la valeur  $V_g$ . A ce moment là, on arrive à la saturation et le processus de chargement s'arrête.

Lorsque le temps de chargement est terminé, un système rotatif permet de positionner automatiquement et rapidement l'échantillon sous la sonde de mesure du potentiel de surface pour le relevé éventuel de  $V_s(t)$ . Les potentiels de la pointe et de la grille (respectivement  $V_p$  et  $V_g$ ) et les distances pointe-grille ( $D$ ) et grille-échantillon ( $d$ ) sont choisies de telle façon à éviter le régime d'étincelle.

### 3.3.2 Matériau utilisé

Dans nos essais expérimentaux, nous avons utilisé le polyéthylène téréphtalate (PET). L'abréviation PET signifie polyéthylène téréphtalate, un plastique de la famille des polyesters. Le PET est un plastique très polyvalent: outre les bouteilles de boisson, d'autres emballages alimentaires et récipients pour médicaments ou produits cosmétiques sont également produits en PET. Étant donné que le PET permet également de produire des films et fibres textiles fins, de nombreux autres produits peuvent également être fabriqués avec du PET (recyclé) comme des tapisseries d'ameublement, des parachutes, des tentes ou des vestes de loisir. C'est un polymère de type polyester saturé, par opposition aux polyesters thermodurcissables. Ce polymère est obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalique avec l'éthylène glycol.

Le PET peut être considéré comme un matériau modèle pour une étude fondamentale. En effet, il peut être à l'état totalement amorphe ou, après un traitement thermique adapté, à l'état semi cristallin. Le taux de cristallinité et la morphologie dépendent du traitement thermique que subit l'échantillon. Nous avons aussi métallisé une face de l'échantillon par une couche de laque d'argent (ou matière conductrice) avant de charger la surface de l'échantillon.

Le PET est un matériau très utilisé dans le domaine de l'électrotechnique, en effet on observe généralement son application dans les condensateurs, les moteurs électriques ainsi que pour l'isolation des câbles.



Figure3-7: Utilisation du PET

Tableau3-1: Représentation des caractéristiques physiques

**Caractéristiques physiques**

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| Absorption d'eau - équilibre (%)     | <0,7      |
| Absorption d'eau - sur 24 heures (%) | 0,1       |
| Densité (g cm <sup>-3</sup> )        | 1,3-1,4   |
| Indice de réfraction                 | 1,58-1,64 |
| Indice limite d'oxygène ( % )        | 21        |
| Inflammabilité                       | HB        |
| Résistance à la radiation            | Bonne     |

Tableau3-2: Représentation des caractéristiques électriques

**Caractéristiques électriques**

|  |                   |
|--|-------------------|
| Constantes diélectriques à 1 MHz               | 3,0               |
| Facteur de dissipation à 1 kHz                 | 0,002             |
| Résistance diélectrique (kV mm <sup>-1</sup> ) | 17                |
| Résistivité de surface (Ohm/carré)             | 10 <sup>13</sup>  |
| Résistivité volumique (Ohm/cm )                | >10 <sup>14</sup> |

**3.4. Conclusion**

Ce chapitre, nous a permis de présenter le dispositif expérimental avec tous ses éléments. Ce plus, nous expliqués le principe de dépôt d charge et de mesure. Enfin il est important de présenter le matériau utilisé sur ses caractéristiques.

**Chapitre IV: Analyse des  
résultats et les moyens de  
protections**

## **4.1 Introduction**

L'électricité statique est souvent perçue comme une nuisance. Elle est à l'origine d'explosions de silos de céréales et de tanks pétroliers, du vieillissement de matériaux diélectriques, du dysfonctionnement de circuits électroniques et de multiples désagréments pour chacun d'entre nous dans la vie quotidienne. Le problème principal lié à l'étude de l'électricité statique est la grande difficulté de mesurer et d'atténuer le phénomène. Dans ce chapitre, nous allons étudier l'influence des charges statiques sur les polymères et la méthode de déclin de potentiel de surface ainsi que l'atténuation par balayage alternatif.

## **4.2. Décharge couronne et Méthode de DPS**

La mesure et l'étude du potentiel de surface et de son évolution dans le temps est une source d'informations sur les propriétés diélectriques des isolants et des polymères en particulier. Les différentes façons de mesurer ce potentiel apportent des renseignements complémentaires sur le comportement des charges électrostatiques créées à la surface des polymères. L'évolution spatiale des charges au cours du temps se traduit par le déclin de potentiel au centre de la répartition (ou dépôt) initiale de charges tandis que l'augmentation du potentiel en périphérie du dépôt est proportionnelle à l'écoulement en surface des charges.

La méthode d'analyse dite « Déclin de potentiel en surface » est une méthode qui a l'avantage d'être simple sans contact et permet de caractériser l'aptitude d'un matériau isolant à évacuer une charge électrique déposée à sa surface. Les isolants, en particuliers les polymères, lorsqu'il apparaît un dépôt de charges sur leur surface, différents phénomènes peuvent évoluer et contribuent au vieillissement des matériaux isolants qui se traduit notamment par une détérioration des multiples propriétés isolantes par différents processus (chimiques, électriques, etc..). Cependant malgré les progrès récents obtenus avec les instruments de mesure, l'identification du mécanisme prédominant reste toujours obscure. Le processus de conduction, de polarisation ou d'injection de charge, le processus de piégeage/dé piégeage sont des phénomènes complexes et difficiles à expliquer et l'interprétation des résultats est malgré tout assez délicate. En dépit de l'importance de tels problèmes, il apparaît qu'il y a eu peu

de tentatives pour comprendre la nature de la migration de la charge sur la surface de l'isolant.

Le problème d'interprétation de l'évolution du potentiel en surface existe toujours à cause de la grande variété des processus physique qui peuvent être responsable après le dépôt de la charge couronne.

- Conduction de surface
- Neutralisation atmosphérique
- Polarisation de l'échantillon
- Injection de charge
- Phénomène piézoélectrique

D'une manière générale, les mesures de l'évolution de déclin de potentiel sur les polymères sont dominées par deux hypothèses:

- Injection de charge
- Polarisation du matériau

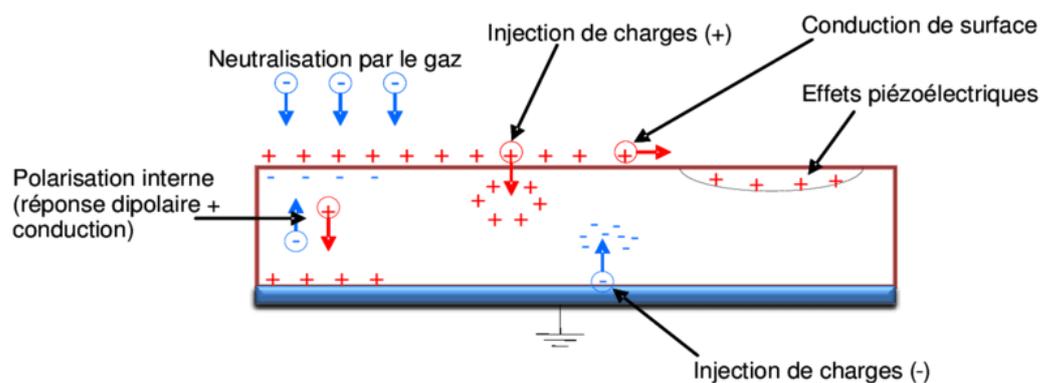


Figure4-1: Evolution de déclin de potentiel sur surface

### 4.3. Méthode de dépôt de charge

#### 4.3.1. Effet couronne

En général, les effets corona se concentrent sur des éléments saillants des parties métalliques sous tension. La forte densité de charge accumulée sur les pointes donne naissance à un champ électrique important dans le voisinage de la pointe (ce champ est proportionnel à la densité de charge par unité de surface). Ce champ électrique

accélère les quelques électrons libres qui se trouvent dans le voisinage et ces électrons peuvent acquérir suffisamment d'énergie cinétique pour à leur tour ioniser d'autres molécules de l'air au voisinage de la pointe, libérant d'autres électrons qui sont accélérés à leur tour, et ainsi de suite. Il existe donc un faible courant qui passe de l'atmosphère vers la pointe. La recombinaison des électrons avec les ions s'accompagne de l'émission de photons (de lumière) et c'est cette lumière qui génère les micros étincelles que l'on peut parfois voir dans l'obscurité. Pour que le phénomène se produise, le champ électrique doit être suffisamment fort pour accélérer les électrons à une vitesse minimum avant que ceux-ci n'entrent en collision avec les autres molécules, sinon celles-ci ne peuvent être ionisées. C'est pour cela qu'on observe le phénomène à proximité des pointes seulement.

Nous allons utiliser l'effet couronne pour déposer des charges statiques sur la surface de notre matériau isolant à l'aide d'une géométrie pointe/plan. La mise en charge de la surface de l'isolant est effectuée par le principe de la géométrie pointe/plan. La pointe constitue l'électrode à polarité négative reliée à une source HT et l'isolant dont la face arrière métallisée est mise à la masse, est positionné sous la pointe. Ceci permet d'une part de générer des champs électriques intenses au niveau de la pointe, d'autre part, le lieu de génération est limité au voisinage de la pointe, le risque de claquage est moindre. Par conséquent, des avalanches électroniques ont lieu près de la pointe.

#### **4.3.2. Décharge couronne négative**

La pointe constitue l'électrode à polarité négative reliée à une source HT, Ceci permet d'une part de générer des champs électriques intenses au niveau de la pointe. Par conséquent, des avalanches électroniques ont lieu près de la pointe selon des cocs électroniques d'ionisation. Les électrons créés arrivent dans une région où le champ est plus faible. Ils n'ont plus assez d'énergie et sont captés par les atomes ou les molécules neutres du milieu. Ils constituent ainsi une charge d'espace composée d'ions négatifs figure 4-2 Sous l'influence du champ, les ions sont balayés vers la surface de l'isolant à travers une grille répartitrice. Cette dernière, permet de répartir la charge uniformément sur la surface de l'isolant.

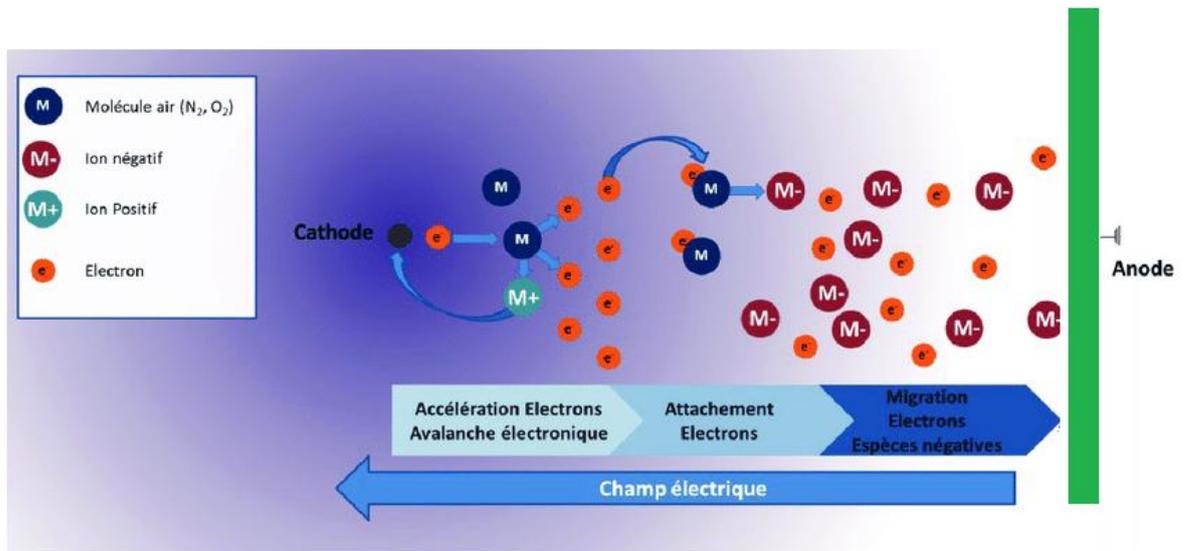


Figure4-2: Décharge couronne négative

#### 4.4. Résultats expérimentaux sur le dépôt de charges

Nous avons d'abord réalisé quelques essais sur le déclin de potentiel de surface pour différente tension de dépôt sur le PET.

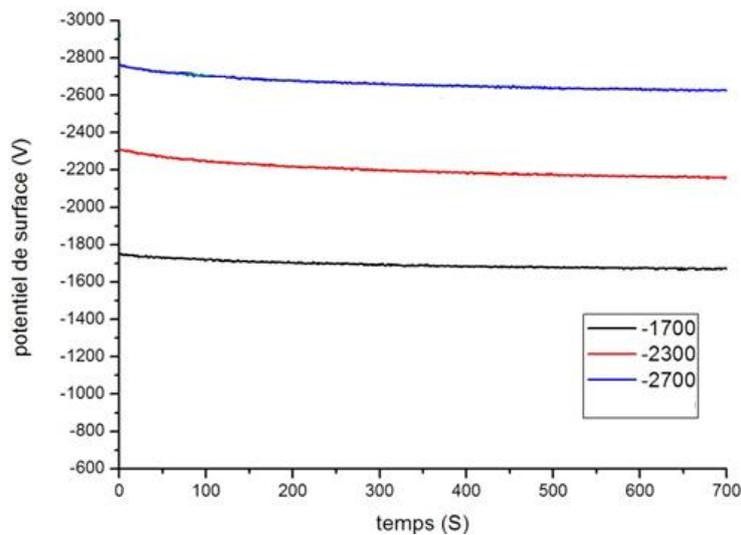


Figure4-3: Effet de potentiel sur le dépôt

Les résultats nous montrent que quel que soit le potentiel de dépôt et que ce soit pour les temps court ou les temps longs, le déclin de potentiel de surface reste

modéré. Pour les temps longs, on remarque que les charges sur la surface ne s'écoulent plus et restent piégées sur la surface de l'isolant. Par conséquent la surface du matériau reste chargée et constitue un aussi inconvénient et un danger d'électrocution ou des décharges peuvent causer d'énormes problèmes et un danger permanent. Nous allons à présent, faire d'autres dépôts de charges plus importantes et essayer de les neutraliser.

Pour cela, nous avons utilisé le stand expérimental suivant :

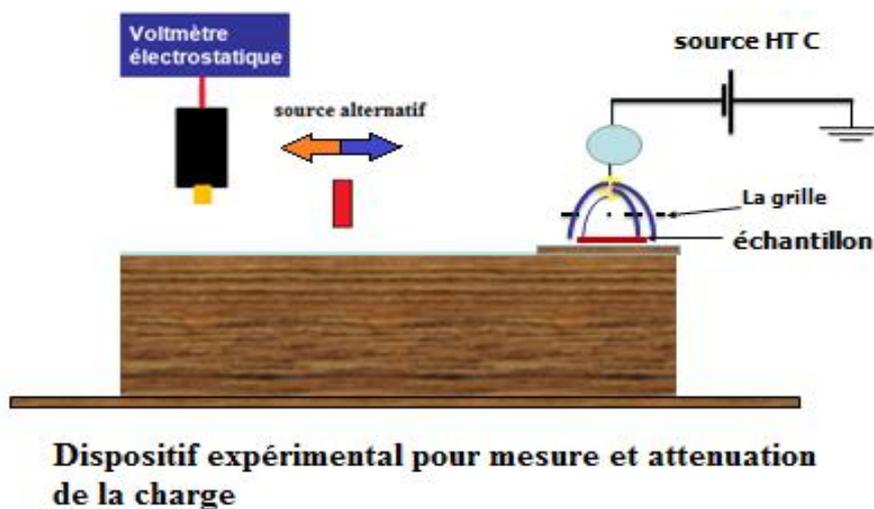


Figure4-4: Dispositif expérimental pour mesure et atténuation de la charge

Le stand expérimental est composé d'une zone de dépôt de charge, d'une zone de mesure et d'une autre pour atténuation par balayage alternatif figure.

Les résultats expérimentaux, nous montrent clairement une neutralisation de charges figure4-5.

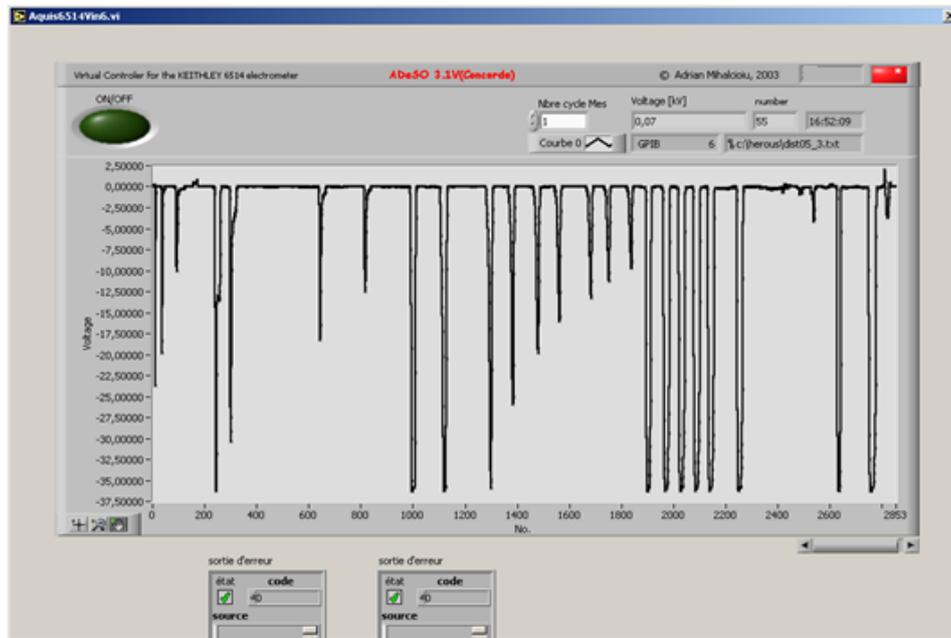


Figure4-5: Balayage sur le dépôt

Les résultats sur la figure nous montrent clairement une neutralisation importante de la charge surfacique.



Figure4-6: Neutralisation de la charge surfacique

D'une manière analogue pour le deuxième essai nous remarquons une neutralisation important de la charge statique.

Cette méthode montre donc son efficacité pour neutraliser les charges.

#### **4.5. Prévention et protection contre les charges statiques**

Les charges positives et négatives sont stockées dans des matériaux et transportées par des personnes. Le corps humain est capable de stocker une charge allant jusqu'à 25 000V. Cette charge est ensuite dissipée (ESD) à travers l'objet récepteur lorsque le courant recherche un chemin libre. Le châssis métallique d'un objet agit souvent comme le conducteur de l'électricité statique, mais il peut se produire à travers d'autres matériaux [32].

Le contrôle statique est particulièrement important dans la fabrication d'assemblages électroniques et de composants tels que les cartes de circuits imprimés et les semi-conducteurs.

Comme il est presque impossible d'éviter les actions génératrices d'électricité statique, la meilleure façon d'éviter d'endommager les équipements sensibles aux décharges électrostatiques est de créer un environnement qui empêche l'accumulation de charges électrostatiques. Les règles de prévention sont portées à la connaissance des industriels pour traiter et limiter le développement des charges électrostatiques sur les matériaux. Des progrès importants ont été accomplis par les industriels pour le choix des équipements, des matériels, et aussi concernant la mise en place de procédures de contrôle et de maintenance pour limiter les risques électrostatiques. Cependant, l'opérateur intervenant sur ces installations court un risque électrostatique important et récurrent.

Les principes de base de la prévention sont la suppression du milieu inflammable, l'emploi de matériaux conducteurs pour éviter ou limiter la création et l'accumulation des charges, l'interconnexion et la mise à la terre des conducteurs fixes et mobiles. Le retour d'expérience montre qu'environ 80 % des événements ont pour cause une défaillance des liaisons équipotentielles et de mise à la terre [33].

Les moyens de prévention sont simples :

1. Réduire la création de charge – prendre soin d’une mise à la terre correcte
2. Eloigner tous les produits isolants non nécessaires des produits sensibles.
3. Protéger les produits par l’utilisation de packaging certifiés pour leur transport en dehors des zones protégées.

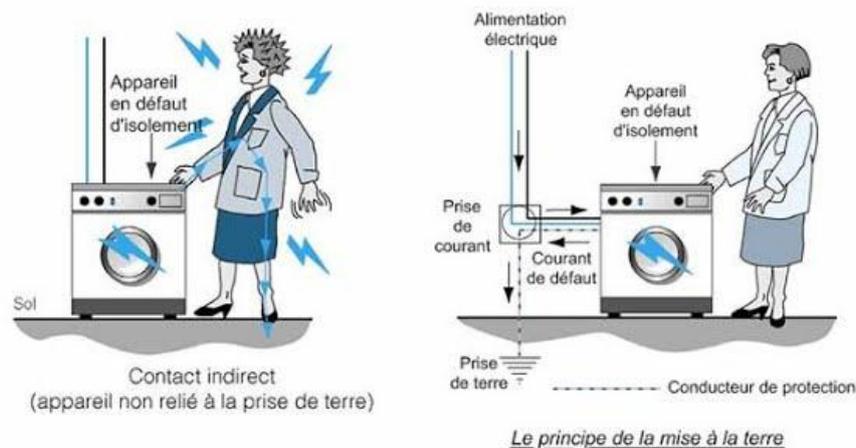


Figure4-7: Protection par la mise à la terre

Tous les éléments conducteurs ou dissipateurs pouvant être chargés doivent être reliés à la terre. Ceci inclut les équipements, les installations, les personnes, les contenants ou même les produits. Il faut s’assurer que les conducteurs ou les objets dissipateurs sont et restent reliés efficacement à la terre. C’est le meilleur moyen pour qu’ils n’accumulent pas des charges.

Il existe aussi une méthode à la fois très simple et très efficace qui consiste à augmenter le taux d’humidité de l’air. En effet, une très légère augmentation de l’humidité peut parfois résoudre les problèmes, toutefois, il n’est pas toujours possible de le faire. On peut également limiter la formation de charges électrostatiques en réduisant les vitesses de friction des produits (réduction de la vitesse de défilement de films plastiques par exemple ou de l’écoulement d’un liquide dans une canalisation).

Parmi les moyens de prévention on distingue aussi la mesure, tous les appareils sont portatifs, compacts, et sont capables de mesurer et d’enregistrer la valeur du champ électrostatique. On peut distinguer deux types de mesures : les mesures directes où l’on essaye de déterminer la charge électrique d’un corps et les mesures

indirectes où ce sont des propriétés particulières des corps vis-à-vis de l'électricité statique que l'on mesure (résistivité, temps de décharge...).

#### 4.5.1. Neutralisation des charges statiques

La neutralisation de la charge statique de matériaux non conducteurs s'obtient à l'aide de l'ionisation active, parmi ces appareils, on peut citer [34]:

**La barre antistatique** qui produit un champ électrique qui transforme les molécules d'air à proximité de la barre en ions positifs et négatifs grâce aux pointes émettrices alimentées en haute-tension.

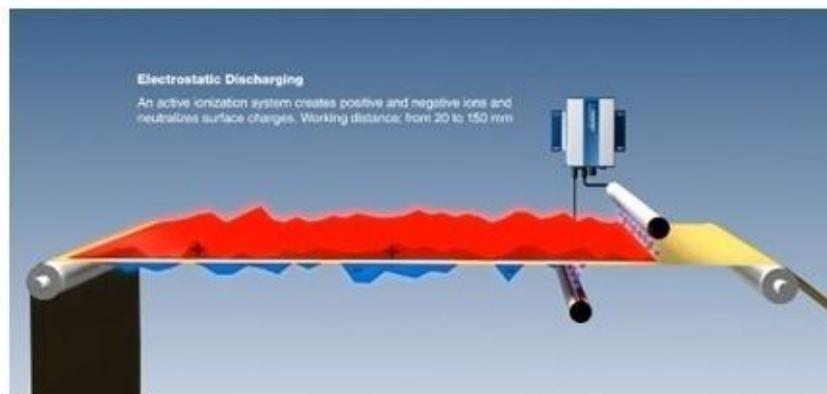


Figure4-8: Ionisation de l'air d'une barre antistatique

Les pistolets ionisants neutralisent les charges électrostatiques de divers matériaux et nettoient la surface à air comprimé ionisé. La neutralisation des charges statiques simplifie le nettoyage de la surface et supprime l'attraction de poussières par le matériau une fois nettoyé.



Figure4-9: Ionisation de l'air par un pistolet

#### **4.6. Protection contre les nuisances électrostatiques**

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

L'équipement d'un électricien est composé [35]:

- d'un casque isolant et antichoc :



Figure4-10-a: Casque isolant

- d'une paire de gants isolants :



Figure4-10-b: Gants isolantes

- d'un écran facial anti-UV



Figure4-10-c: Ecran facial anti UV

- des chaussures ou bottes isolantes de sécurité :



Figure4-10-d: Bottes isolantes

- d'une combinaison de travail en coton ignifugé ou en matériau similaire.



Figure4-10-e: Combinaison de travail

Enfin, Les formations en hygiène et sécurité visent à répondre au principe général de prévention qui veut qu'à chaque poste de travail, l'agent ait reçu les INSTRUCTIONS APPROPRIEES. Le comité d'hygiène et de sécurité coopère à la préparation des actions de formation à la sécurité et veille à leur mise en œuvre effective. La formation à la sécurité doit être pratique et appropriée aux risques

déterminés lors de l'analyse des risques de l'établissement. Elle permet d'obtenir l'indispensable adhésion de chacun à la prévention des risques.

#### **4.7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons réalisé des essais expérimentaux dans le but de neutraliser la charge surfacique. Les résultats obtenus sont très satisfaisants. An ce qui concerne la prévention, elle repose, d'une part, sur la mise en sécurité des installations et des matériels électriques et, d'autre part, sur le respect des règles de sécurité lors de leur utilisation ou lors d'opération sur ou à proximité des installations électriques.

## **Conclusion générale**

L'électricité statique demeure le risque le plus complexe à évaluer et à prévenir, aussi bien lorsqu'il est pris en compte par les constructeurs de matériels et d'équipements que lors de sa survenance en production et utilisation des installations.

La grande difficulté réside, comparativement à d'autres sources d'inflammation, dans le fait d'englober l'environnement humain au poste de travail. En effet, en plus de la machine, son opérateur est une source connue et comprise dans l'accidentologie d'origine électrostatique.

La préoccupation de notre mémoire concerne les phénomènes d'origine électrostatique dont la manifestation peut avoir des conséquences redoutables. Le contact fortuit avec ces matériaux chargés peut alors provoquer des courants de décharges matérialisés par un seuil d'ionisation développant une énergie capable d'engendrer l'explosion de certains fluides.

Nous avons essayé dans notre projet de mettre en avant les dangers qu'offre l'électricité statique. Notre apport scientifique dans ce mémoire est de montrer expérimentalement et théoriquement l'importance de ce phénomène dans les entreprises et industries et les méthodes actuellement en cours d'études dans les différents laboratoires de recherche.

Les essais expérimentaux sur le dépôt et la neutralisation des charges nous ont permis d'acquérir une grande connaissance et une grande expérience sur ce phénomène, de plus les résultats obtenus nous ont montré l'efficacité de ce procédé de neutralisation.

Comme perspective, nous proposons l'élargissement de ces travaux sur d'autres matériaux isolants avec d'autres seuils de tension dans des endroits humides et secs. Nous proposons aussi qu'il faut essayer de comparer cette méthode d'atténuation des charges par rapport à d'autres méthodes ainsi que leur effet par rapport à certaines grandeurs physiques.

**Bibliographies :**

- [1] L.LANDAU, E.LIFCHITZ, « Physique théorique », tome2 : théorie de champs, 5<sup>e</sup> édition, Ellipses, Paris, chapitre III, § 16. 1994.
- [2] DON.BOSCI.TOURNAI. « Histoire de l'électricité » .
- [3] A.TILMATINE, « Diélectriques 1 : matériaux diélectriques »,Chapitre 7, USBA , 2017.
- [4] Norme CEI 60243-1, «Rigidité diélectrique des matériaux isolants. Méthodes d'essai. Partie 1 : essais aux fréquences industrielles», 1998.
- [5] A. ANTON, «Matériaux isolants solides - Caractéristiques électriques», Techniques de l'Ingénieur, rubrique Matériaux à propriétés électriques et optiques, D2315, août 2003.
- [6] R.BARTINIKAS, R.M.EICHHORN, «Electrical properties of solid insulating materials: molecular structure and electrical behavior», Engineering dielectrics, Vol. II A. ASTM. stp 783, 1983.
- [7] A.SEYNI «Propriétés physico-chimiques et d'usage de matériaux composites à charge dégradable produits par co-broyage». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, décembre 2008
- [8] J. H.MASSON, «Dielectric Breakdown In Solid Insulation», Progress in dielectric, p. 1, Heywood & Co., London, 1959.
- [9] M.NEMAMECHA, «Claquage des isolants haute tension», session 2899, 9<sup>th</sup> ISH, Graz, pp. 1-4, 1995.
- [10] I.K.SEUNG, «A study on the partial discharge characteristics according to the distribution pattern of voids with an insulation», IEEE, 1995
- [11] H. REATHER, « Electron avalanches and breakdown in gases», Butter worths , p.191 , 1964.
- [12] L.A. Dissado and J.C. Fothergill, « Electrical degradation and breakdown in polymers »,., Ed. Peter Peregrinus Ltd., London, 1992.
- [13] C. Laurent « Diélectriques solides et charge d'espace » Technique de l'Ingénieur, D2305, 1999.
- [14] L.A. Dissado,« Understanding electrical trees in solids: from experiment to theory » IEEE Transactions on Dielectrics Electrical Insulation, vol. 9, pp.483-497, 2002.

- [15] Medard L. « Les explosifs occasionnels », vol. 1, Propriétés, 1987
- [16] F. H. Kreuger, "Partial discharge detection in high voltage equipment", Butterworth- Heinemann, pp. 78-85, 1990.
- [17] L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ; Électricité statique, N. BergerM. DenozièreJ.-C. GiletD. GuionnetH. Romat : ED 874
- [18] C. MENGUY Electricité statique. Principes. Problèmes. Applications. D 1 035, traité Génie électrique, Techniques de l'Ingénieur, 1993
- [19] Moore A. D. Electrostaticsanditsapplications,John Wiley&SonsInc.,1973
- [20] Eddy. AUBERT «Diagnostic optique du vieillissement électrique des résines Époxydes sous faible champ électrique». Thèse de doctorat de l'université TOULOUSE III – Paul Sabatier, novembre 2008.
- [21] TARIK HAMMI .thèse Université des sciences et technologies de lille .  
ETUDE DE METHODES DE MESURES ET REALISATION D'UN BANC  
DE TEST POUR L'EVALUATION DES PROPRIETES  
ELECTROSTATIQUES DES TEXTILES. 2009.
- [22] R. CHALLANDE Mesure et élimination de l'électricité statique nuisible  
.Eyrolles, Gauthier-Villars, 1973.
- [23] Medard L. Les explosifs occasionnels, vol. 1, Propriétés, 1987
- [24] L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ; Électricité statique, N. BergerM. DenozièreJ.-C. GiletD. GuionnetH. Romat : ED 874 . 2016
- [25] Claude MENGUY ;Électricité statique - Principes. Problèmes. Applications -  
Nuisances et dangers de l'électricité statique. 2010
- [26] E. DURAND Electrostatique – I. les distributions Masson, 1964.
- [27] E. DURAND Electrostatique – II. Problèmes généraux, conducteurs Masson,  
1966.
- [28] Nadine Lahoud «Modélisation du vieillissement des isolants organiques sous  
contrainte électrique application à la fiabilité des matériaux». Thèse de doctorat  
de l'université TOULOUSE III – Paul Sabatier. Mars 2009.

- [29] Carl. Potvin «Comportement et effet de la charge d'espace sur les mécanismes des vibrations induites par effet de couronne». Mémoire d'ingénieur de l'université de Québec, mars 2000.
- [30] D.M. TAYLOR, T.J. LEWIS Electrical conduction in polyethylene terephthalate and polyethylene films J.Phys.D.(Appl. Phys.), 1971, 4, 1346-1357
- [31] A.S. da Silva Sobrinho, N. Schühler, J. E. Klemberg-Sapieha, M.R. Wertheimer, .Plasma-deposited silicon oxide and silicon nitride films on poly (ethylene terephthalate) : a multitechnique study of the interphase regions. Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. 16, No 4, (1998), pp. 2021-2029
- [32] Loeb .L.B. « Electrical coronas » Berkeley and Los Angeles: vintenty of California Prem, 1965.
- [33] STANDARD IEC 61340-5-1 Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General requirements 1998
- [34] STANDARD EN 1149-1 Protective clothing – Electrostatic properties – Part 1: Test methods for measurement of surface resistivity 1996
- [35] J. LAPERRE, J. HAASE, P. HOLDSTOCK,P. KATHIRGAMANATHAN, G. SCHMEER-LIOE, M.J. TOOHEY Electrostatic safety of personal protective clothing for use in flammable atmospheres Techtexil Symposium'99 – Block 3: "new protective textiles" – paper 308