

17/620.757

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



## Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences et Technologie  
Filière : génie électrique  
Spécialité : Protection et contrôle des réseaux électriques

---

### PROCESSUS DE CHARGEMENT DES DIELECTRIQUES SOLIDES

---

Présenté par :

- MAALEM LEILA
- DOUAKHA FARIDA

Sous la direction de : Dr Kachi Miloud

JUIN 2012



## REMERCIEMENT

*Le plus grand merci revient a dieu qui lui seul nous a guidé dans le bon sens durant notre vie et qui nous aidé a' réaliser ce modeste travail.*

*Je remercie vivement mon encadreur: Dr : kachi Miloud qui a été présent et très actif tout au long de ce travail, n'hésitant pas a' prendre sur son temps pour nous aider du début jusqu'à la rédaction du mémoire.*

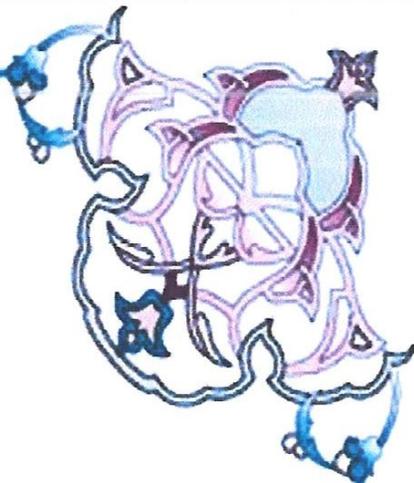
*Je souhaite aussi exprimer mes plus sincères remerciements a chacun des nombres du jury.*

*Je tiens aussi a' remercier en particulier, chef département M. Roulouh Messaoud*

*Un grand merci a tout les enseignants de département de génie électrique.*

12/2818





Dédicace

Je remercie mon dieu qui m'a donné la force et le savoir.

Je dédie se modeste travail a' mes parents qui sont la source de la  
lumière de ma vie.

A' un qui a une situation considérable dans mon cœur a'l'un qui est le  
plus précieux que ma vie.

A mon marie : Rabia

A mes frère : Omar, Tarik et ses enfants, et toute la famille.

A ma sœur : Abla et ses enfants

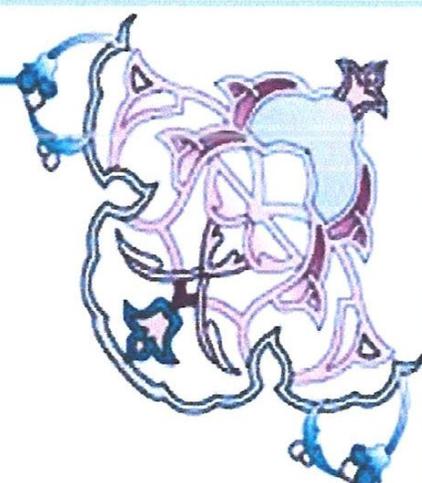
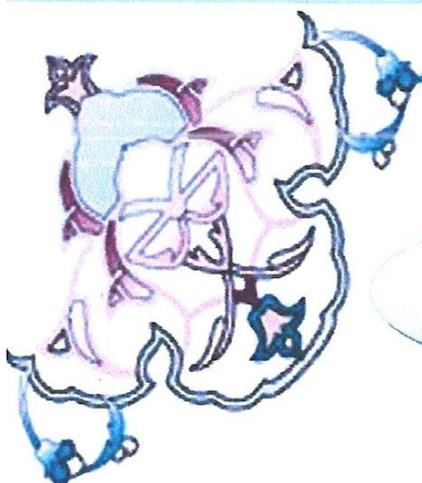
Amon amie intime la plus proche que moi a' ma sœur : Bessma

A mon petite sœur : Saliha

Mes copines et mes collègues : Leila, Fatma, Warda, Hana, Sana.



*Farida*



Dédicace

Je remercie mon dieu qui m'a donné la force et le savoir.

Je dédie se modeste travail a' mes parents qui sont la source de la  
lumière de ma vie.

Al' un qui a une situation considérable dans mon cœur a'l'un qui est le  
plus précieux que ma vie.

A mes frère :Mouhamed ,Nour adine, abdel hake ,Ahmed et ses  
enfants, et toute la famille.

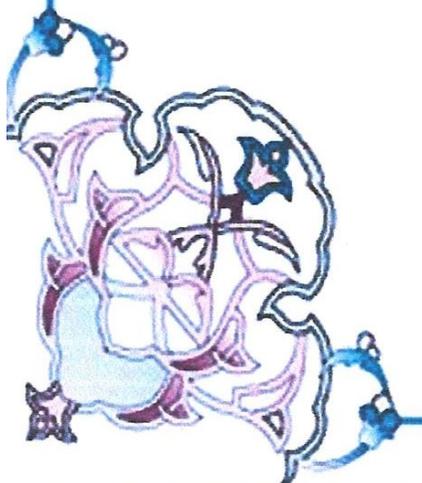
A ma sœur : Ghania, Houda, Sabrina,Souriaet ses enfants

Amon amie intime la plus proche que moi a' ma sœur : Linda ses  
enfants

A mon petite sœur : Farida

Mes copines et mes collègues :Farida, Fatma, Warda, Hana, Sana.

Sans oublié mon beau frère Ali



*LEILA*

# *Sommaire*

Introduction générale.....1

## **Chapitre I Les matériaux diélectriques**

I.1 Introduction.....3

II.2 Quelques Définitions.....3

II.2.1 Diélectrique.....4

II.2.1.2 Isolation.....4

II.2.1.3 Le claquage.....4

II.2.2 Usage et application des matériaux isolants .....5

II.2.2.1 Les équipements informatique .....5

II.2.2.2 Condensateurs au papier, au plastique et à l'huile .....5

II.2.2.3 Transformateur .....6

B- fonctionnement.....7

II.2.2.4 les câbles .....8

II.2.2 caractéristiques des isolants.....8

II.2.2.1 Permittivité diélectrique.....9

II.2.2.2 Rigidité diélectrique.....9

II.2.2.3 facteur de pertes (l'angle de pertes diélectriques).....10

II.2.2.4 conductivité.....11

II.2.3 Protection équipements isolés.....12

II.2.3.1 Les isolateurs.....12

II.2.3.2 Protection différentielle des transformateurs.....12

## Chapitre II Méthodes de chargement

II.1 Application et situation impliquant le chargement.....	14
II.1.1 Les applications électrostatiques .....	15
II.1.1.1 La séparation électrostatique.....	15
II.1.1.2 La xérographie .....	17
A- Les photocopieuses .....	17
II.1.1.3 filtrage électrostatique .....	17
II.2.1 décharge couronne .....	19
II.2.1.1 Définition.....	19
II.2.1.2 Champ électrique .....	20
II.2.1.3 Les décharges couronnes.....	21
II.2.1.4 Chargement des polymères par décharge couronne.....	22
II.2.1.5 Décharge couronne positive.....	24
II.2.1.6 Décharge couronne négative.....	25
II.2.1.7 Décharge couronne alternative.....	26
1. Mécanismes d'activation du gaz et paramètres fondamentaux.....	27
2. Loi de Paschen.....	28

II.3.1.1 Charges électriques.....	30
II.3.1.2 Détection des charges.....	30
Méthodes d'électrisation.....	30
A- Électrisation par frottement.....	30
B- Électrisation par contact.....	31
C- Électrisation par induction .....	32

### **Chapitre III Mesure de l'état de charge**

Introduction.....	34
3.1. Seau de Faraday.....	34
3.2. Sonde capacitive.....	35
3.3. Sonde capacitive vibrante.....	37
3.4. Sonde capacitive pour la mesure du potentiel.....	38
3.6. Voltmètre électrostatique.....	40
3.7. Technique de mesure du potentiel de surface.....	41
3.8. Dynamique des charges à la surface des films polymères.....	43

a. Déclin de potentiel des films chargés par décharge couronne....	43
b. Déclin de potentiel des films chargés par frottement.....	44
3.9. Mécanismes de déclin de charges .....	44
Conclusion.....	46

# **Introduction**

# Introduction

Depuis l'apparition des technologies et applications, comme la xérogaphie et les électrets, impliquant le chargement et le stockage des charges à la surface des isolants, la caractérisation de leur état de charge est devenue primordiale. Dès lors, la mesure en circuit ouvert du déclin de potentiel de surface avait été l'objectif de beaucoup d'études visant la compréhension et la maîtrise de l'évolution de la charge surfacique. Les efforts des chercheurs dans ce domaine ont abouti au développement de plusieurs modèles théoriques reliant l'évolution des charges surfaciques aux propriétés diélectriques du matériau et au transport des charges dans son volume. Ces méthodes de mesure ont été utilisées pour l'étude des charges d'espace et du phénomène de vieillissement, appliquée principalement au polyéthylène pour isolation des câbles. Les études se faisaient alors sur des structures en films. Avec l'apparition des méthodes de mesure des charges d'espace, les mesures électrostatiques ont été quasiment écartées de la caractérisation des isolants.

Le développement des applications électrostatiques est souvent accompagné par le besoin de compréhension et la maîtrise des mécanismes de chargement et de l'évolution des charges surfaciques. De plus, la charge accumulée à la surface des isolants doit être éliminée lorsque sa présence peut être gênante au processus ou lorsqu'elle peut causer des problèmes touchant à l'installation.

Dans ce mémoire, nous avons essayé de caractériser les matériaux polymères sous forme de films par la mesure du potentiel de surface.

Le mémoire comporte trois chapitres présentés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons les matériaux isolants où les charges s'accumulent.

Dans le deuxième chapitre nous décrivons les procédés de chargement des isolants

Dans le troisième chapitre on présente les différentes méthodes de mesure utilisées pour la caractérisation de l'état de surface des isolants polymères. La méthode de déclin de potentiel de surface a été appliquée à la mesure de la dynamique des charges à la surface des films de polyéthylène téréphtalate PET.

## **Chapitre I**

# **Les matériaux diélectriques**

**I.1 Introduction:**

Les isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée car ils contiennent très peu d'électrons libres. Un isolant est caractérisé par ses propriétés électriques, mécaniques, chimiques et thermiques. Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension continue. Autrement dit, sa résistance en CC doit être infiniment grande. Cependant, en pratique, un courant de fuite très faible circule dans tous les matériaux isolants utilisés en HT continue. Le courant passant à travers un isolant en HT continue est également constant et est appelé courant résiduel. En HT alternative, n'importe que matériau isolant laisserait passer un courant capacitif.

Les isolants sont utilisés pour :

- assurer une séparation électrique entre des conducteurs portés à des potentiels différents afin de diriger l'écoulement du courant dans les conducteurs désirés → protection des personnes et des équipements ;
- supporter les éléments d'un réseau électrique et les isoler les uns par rapport aux autres et par rapport à la terre ;
- remplir les fonctions de diélectrique d'un condensateur

**II.2 Quelques Définitions:****II.2.1 Diélectrique:**

Diélectrique et isolant sont deux mots synonymes, cependant on réserve le mot « diélectrique » aux matériaux polarisables.

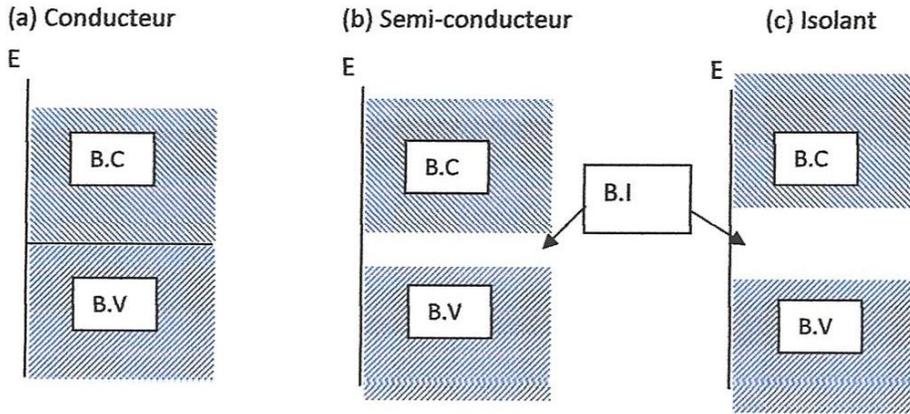
Un isolant est un matériau de très grande résistivité ( $\rho \approx 10^{17} \Omega \cdot m$ ) et ainsi seul un faible courant parvient à le traverser que l'on qualifie de courant de fuite. Physiquement et du point de vue conduction, la grande résistivité des isolants vient de la largeur de la bande interdite qui est dans ce cas très large comparativement au conducteur et au semi-conducteur. En effet, le diagramme de la bande d'énergie classifie les matériaux en trois catégories :

**Conducteurs :** Pour ce type de matériau une faible énergie (une tension) permet le déplacement des charges, ce qui correspond à une très faible bande interdite où la bande de valence et de conduction se chevauchent (Fig 1).

**Semi-conducteurs :** dans le cas d'un semi-conducteur la bande interdite est autour de 1ev.

### II.2.1.1 Isolants:

Les isolants possèdent une large bande interdite (environ au delà de 3eV) d'où la nécessité de d'une très grande tension pour provoquer la conduction d'un faible courant.



B.C : Bande de conduction

B.V : Bande de valence

B.I : Bande interdite

Fig 1

### II.2.1.2 Isolation:

C'est un système constitué par des matériaux isolants ou un assemblage de matériaux isolants à considérer avec les parties conductrices associées.

### II.2.1.3 Le claquage:

Puisque aucun isolant ne résiste à une tension illimitée, pour une certaine valeur de tension, il se produit de façon brusque et irréversible un changement d'état qui se manifeste par la perte de la propriété isolante d'un matériau. C'est ce qu'on appelle claquage du matériau e claquage est donc une phase ultime résultant d'une chaîne de phénomènes compliqués qui peuvent durer des microsecondes (cas du claquage des gaz) ou des années (par exemple l'action des décharges partielles sur un isolant solide). Les phénomènes suivant la phase de claquage d'épendent de la nature du matériau et de la puissance de la source d'énergie

**II.2.2 Usage et application des matériaux isolants :**

**II.2.2.1 Les équipements informatiques :**

Equipements	Contenus de Plastique [%]
1. Unités centrales 	20%
2. Moniteurs CRT et LCD 	18% CRT 30% LCD
3. Ordinateurs portables 	30%
4. Claviers et souris 	95%
5. Imprimantes jet d'encre 	60%
6. Imprimantes laser 	40%
7. Photocopieurs 	30%

Tableau 1: Présence des matériaux thermoplastiques dans les principaux types d'équipements informatiques

**II.2.2.2 Condensateurs au papier, au plastique et à l'huile :**

Les condensateurs industriels sont façonnés par des minces feuilles de métal (telles que l'aluminium) séparées par une fine couche de papier ou une feuille de plastique synthétique. Les feuilles sont enroulées ensemble et forment un rouleau cylindrique qui est placé dans une

enveloppe protectrice ou dans un boîtier. Les deux feuilles métalliques sont raccordées à ces bornes extérieures (Fig 2).

Les condensateurs destinés à supporter des tensions élevées sont imprégnés d'huile. La plupart de ces condensateurs sont installés sur les réseaux à courant alternatif.

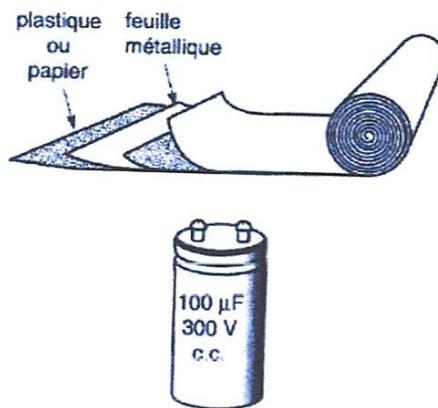


Fig 2 : Construction d'un condensateur conventionnel. Même si la superficie des plaques est très grande, l'encombrement est énormément réduit lorsque le tout est enroulé en forme de cylindre.

### II.2.2.3 Transformateur :

On distingue l'isolation principale et longitudinale.

L'isolation principale comprend: l'isolation entre bobinage, entre bobine et circuit magnétique et entre bobine et bac.

L'isolation principale est assurée par de l'huile et des écrans (cartons isolants). Le bac étant remplie d'huile.

L'isolation longitudinale comprend l'isolation entre spires et entre couches d'une même bobine.

- Un clapet anti retour sur conduite du conservateur.

➤ **les galets de roulement**

Les transformateurs reposent sur la voie à l'aide de galets de roulement munis d'un système de blocage sur les rails.

Les cuves comportent en général de différents points de fixation des galets nécessaires à l'adaptation aux écartements des rails existants dans les postes.

**II.2.2.4 les câbles :**

Les applications de types fils et câbles couvrent une vaste gamme de propriétés. Les câbles des lignes électriques moyenne tension se composent généralement de plusieurs couches de matériaux. Le conducteur électrique est recouvert d'un composé semi-conducteur conçu pour soulager les contraintes électriques dans le câble en captant les électrons qui pourraient s'échapper le long du conducteur. Cette couche se compose généralement d'un noir conducteur. Le blindage conducteur doit être très lisse pour former une interface parfaite entre l'isolant et le conducteur. S'il n'est pas lisse, on risque une détérioration prématurée. La couche isolante sert à isoler électriquement le conducteur vis-à-vis de son environnement. Une deuxième couche semi-conductrice améliore encore le rendement du câble. La couche extérieure peut être mise à contribution pour la protection UV, ou pour améliorer la protection contre l'infiltration d'humidité dans le cas d'un câble à enfouissement direct.

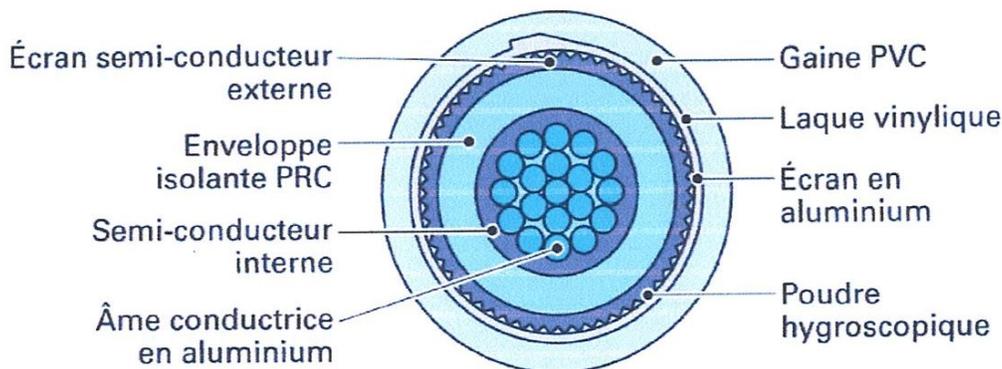


Fig :4 *fig 1,4*

**II.2.2 caractéristiques des isolants :**

Les matériaux diélectriques sont caractérisés en particulier par :

- leur rigidité diélectrique

- leur permittivité diélectrique  $\epsilon$
- facteur de pertes



II.2.2.1 : Rigidité

### II.2.2.1 Permittivité diélectrique $\epsilon$ :

Dés les premiers temps de l'électrostatique, on savait que les matériaux diélectriques permettaient d'augmenter la capacité de charge d'un condensateur.

Comme la rigidité diélectrique, le paramètre « constante diélectrique » ou permittivité fut défini pour caractériser cette propriété macroscopique du matériau.

Les besoins en condensateur de forte capacité, à haute tension de claquage et de petites dimensions, augmentèrent avec les applications des courants haute fréquence et la radioélectricité. Pour répondre aux exigences propres à ce champ d'application, de nombreux matériaux diélectriques furent examinés et classés en fonction de leur rigidité diélectrique et permittivité. Les demandes de matériaux mieux adaptés augmentèrent. Dans un domaine spécial d'application, la réussite dans la recherche de matériaux nouveaux demande la connaissance des mécanismes fondamentaux relatifs à leurs propriétés particulières. C'est le but de la théorie des diélectriques de fournir ces renseignements théoriques en exprimant les propriétés macroscopiques à partir de la structure atomique et moléculaire du matériau.

**Pour l'air, les gaz et le vide,  $\epsilon_r = 1$ . Donc  $\epsilon = \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$**

**Pour tous les autres isolants,  $\epsilon_r > 1$**

### II.2.2.2 Rigidité diélectrique:

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

Si le champ électrique dépasse la rigidité diélectrique du matériau, on parle de claquage, et le matériau peut voir ses propriétés physiques modifiées, parfois de façon réversible, et parfois de façon irréversible.

**Rigidité diélectrique de quelques diélectriques usuels:**

Matériau	Rigidité Diélectrique (MV/m)
Air	3
Quartz	8
titanate de Strontium	8
Néoprène	12
Nylon	14
Pyrex	14
huile silicone	15
Papier	16
Bakélite	24
Polystyrène	24
Téflon	60

Tableau 2

**II.2.2.3 facteur de pertes (l'angle de pertes diélectriques) :**

L'angle de pertes  $\delta$  est défini comme étant l'angle complémentaire du déphasage entre la tension U entre les conducteurs et le courant de fuite/traversant l'isolant :

On a :

$$\tan \varphi = \frac{CU\omega}{\frac{U}{R}} = RC\omega$$

$$\Rightarrow \tan \delta = \frac{1}{\tan \varphi} = \frac{1}{RC\omega}$$

La valeur  $\tan \delta$  est appelée facteur de dissipation diélectrique

- bon isolant  $\rightarrow$  résistance d'isolement R élevée  $\delta$  faible
- mauvais isolant  $\rightarrow$  R faible  $\delta$  élevé

En pratique, le facteur de dissipation  $\tan \delta$  varie entre  $10^{-2}$  et  $10^{-4}$ .

H.2.2.4 conductivité :

Diélectriques dans les condensateurs

Pour un condensateur, le choix du matériau diélectrique se fera selon des critères différents des deux applications précédentes.

La figure suivante illustre le principe de construction d'un condensateur :

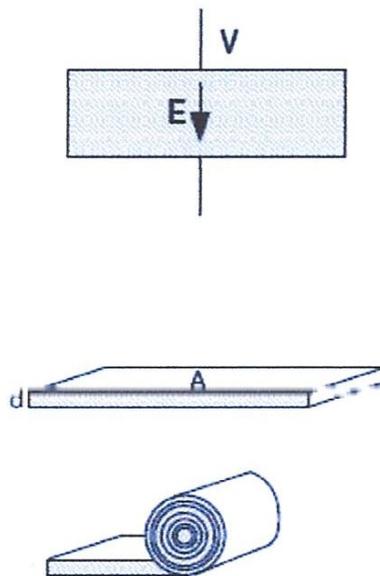


Fig5 :

La capacité d'un condensateur se détermine à partir de la formule habituelle:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \longrightarrow (47)$$

Et le champ électrique à l'intérieur du matériau:

$$E = \frac{V}{d} \longrightarrow (21) \quad (2)$$

Dans la plupart des cas, on cherchera un matériau possédant une permittivité  $\epsilon$  élevée et une rigidité diélectrique élevée.

**II.2.3 Protection des équipements isolés :****II.2.3.1 Les isolateurs :**

Les matériaux isolants occupent une place importante dans les applications électriques. On les retrouve partout où il y a des conducteurs électriques. Chaque conducteur électrique se doit d'être entouré d'isolant, afin de:

- protéger les utilisateurs contre les chocs électriques;
- protéger l'équipement électrique contre les risques de court-circuit

Dans les lignes de transport électrique, l'isolant principal est l'air. Cependant, on utilise des isolateurs attachés à des pylônes afin de maintenir les câbles suspendus dans les airs. Dans ce cas, l'isolant joue un rôle essentiellement mécanique. Il n'en demeure pas moins que le matériau utilisé doit posséder d'excellentes propriétés d'isolation électrique.

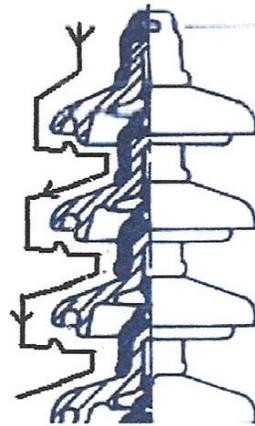


Fig6 :

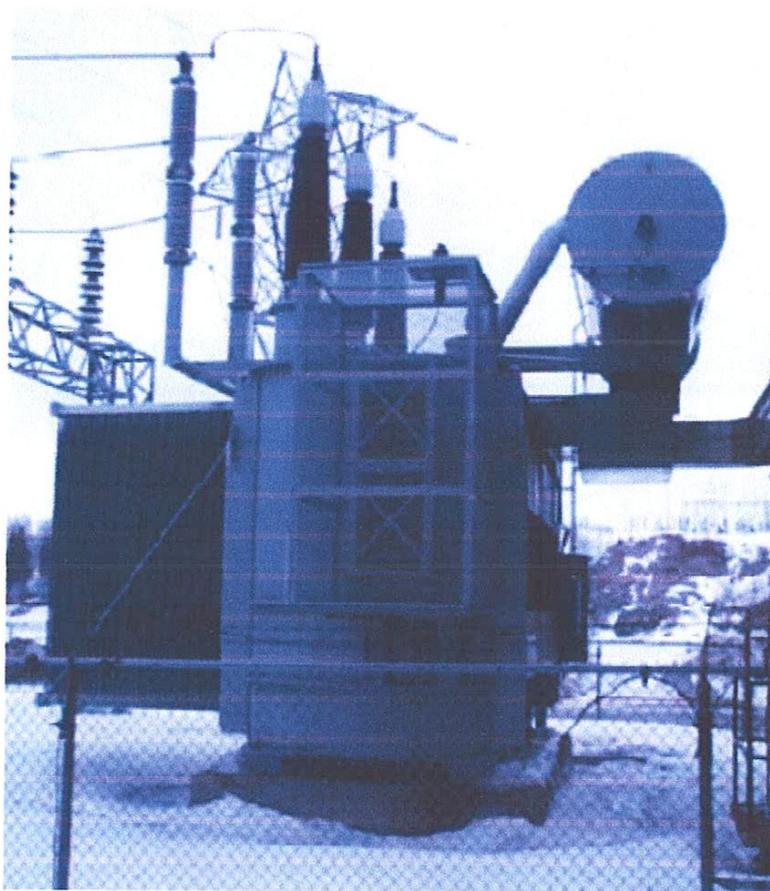
**II.2.3.2 Protection différentielle de transformateur:**

La protection différentielle présente l'avantage de protéger le transformateur tant vis-à-vis des défauts internes que vis-à-vis des défauts à ses connexions. Elle est basée sur le principe que tout courant qui entre dans un organe électrique est égal à celui qui en sort. Théoriquement, toute inégalité indique un défaut.

Toutefois, les caractéristiques spéciales d'un transformateur impliquent quelques agencements car il y a existence de :

- Déséquilibre des courants primaires et secondaires induit par le réglage en charge de la tension ( $\pm 18\%$ ).
- Petite inégalité au niveau de l'ajustement des courants à travers les transformateurs auxiliaires (précision des T.C adaptateur).
- Imprécision des transformateurs principaux de courant.

Ces source de déséquilibre sont inévitables et c'est pourquoi le relais différentiel est à pourcentage du courant de charge (20 à 25% )



**Fig7:Transformateurs de puissance (ou de distribution)**

## **Chapitre II**

### **Méthodes de chargement**

*1.01* Application et situation impliquant le chargement

**II.1.1 Les applications électrostatiques :**

**II.1.1.1 La séparation électrostatique :**

**Principe de fonctionnement de l'électro-séparateur :**

Le schéma de la figure 1 montre les différents éléments composant le séparateur et le rôle de chacun d'eux. Des charges électriques sont créées par ionisation de l'air grâce à la décharge couronne générée par l'électrode à pointes (1), appelée électrode couronne. Les granules déposés sur le cylindre tournant (2) par le vibro transporteur (3) acquièrent tous une charge électrique  $q$  de même signe que le potentiel de la haute tension continue, et se comportent différemment suivant qu'ils soient électriquement conducteurs ou isolants

**A-** Les granules isolants restent "collés" au tambour et adhèrent à sa surface grâce à la force d'image électrique. Ils tombent dans le collecteur (6), dans la partie qui leur est réservée, lorsque la force de pesanteur l'emporte sur la force d'image. Pour assurer la chute de ces particules, certains électro-séparateurs sont équipés par une autre électrode à pointes, appelée électrode de neutralisation (7), pour éliminer la charge  $q$  par neutralisation. Les particules qui ne tombent pas et qui restent "collées" sont éliminées mécaniquement par une brosse (5).



Fig 1.1

**B-** Les granules conducteurs perdent rapidement la charge  $q$  acquise par effet couronne, à travers

le cylindre relié à la terre. En arrivant dans la zone du champ électrostatique généré par l'électrode statique de forme elliptique (4), ils acquièrent par induction électrostatique une charge de signe opposé au potentiel de la haute tension continue. Ils sont ensuite attirés par l'électrode elliptique et déposés dans la partie droite du collecteur.

Dans tous les cas, le produit granulaire à séparer est déposé sur la surface de l'électrode cylindrique reliée à la terre, qui l'introduit dans la zone du champ électrique. Deux mécanismes de charge sont simultanément employés: "bombardement ionique" et "induction électrostatique". Le premier est destiné aux particules isolantes seulement, passant à travers la décharge couronne, le deuxième implique seulement les particules conductrices en contact avec le tambour en présence d'un champ électrique externe, à savoir le champ électrostatique créé par l'électrode elliptique.

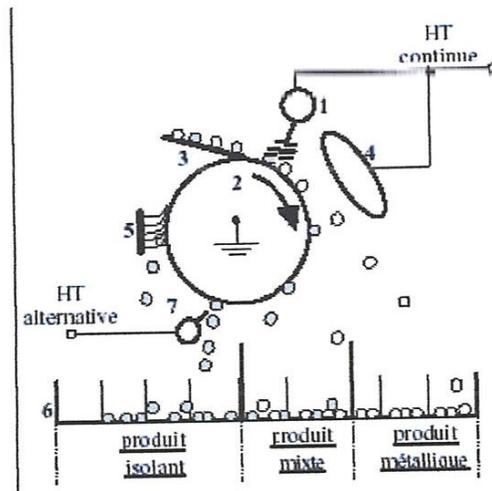


Fig 2 : Eléments constitutifs de l'électro-séparateur

- 1) Electrode couronne reliée à une HT continue ;
- 2) Electrode cylindrique reliée à la terre ;
- 3) Vibro-transporteur ;
- 4) Electrode statique reliée à la même HT continue ;
- 5) Brosse ;
- 6) Collecteur de particules ;
- 7) Electrode de neutralisation reliée à une HT alternative.

### II.1.1.2 La xérogaphie :

#### A- Les photocopieuses :

Les photocopieuses modernes et les imprimantes laser possèdent une surface imprimante qui devient instantanément opérationnelle à partir du moment où l'original a été photographié ou scanné (numérisé). En effet, la surface est recouverte d'une matière photoconductrice qui, dans l'obscurité, se comporte comme un isolant chargé d'électricité statique. Les zones, de la surface, illuminées par un rayon laser deviennent alors conductrices et perdent leur charge. Les autres zones gardent leur charge, attirant des particules de colorant de charges opposées appelées toner. Le toner est alors transféré vers un morceau de papier ou de plastique par attraction électrostatique.

L'image ainsi formée est alors définitivement fixée par exposition à la chaleur ou à des vapeurs de solvants.

La couche photoconductrice telle que le sélénium ou le sulfure de cadmium peut être recyclée plusieurs milliers de fois.

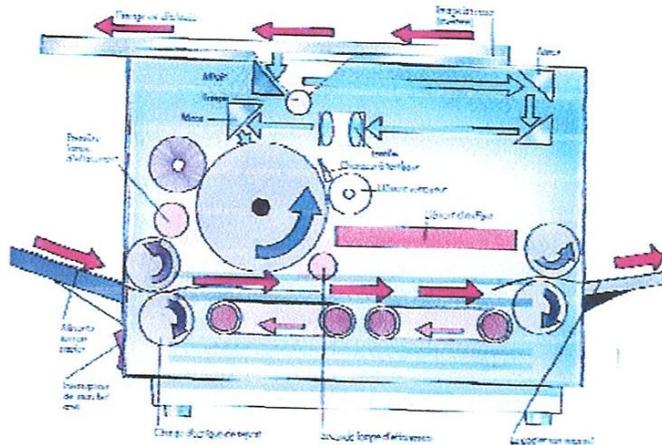


Fig 3

### II.1.1.3 filtrage électrostatique :

Si ce rapport est de 10, l'ionisation débute autour du conducteur central dès que le champ électrique atteint  $3 \text{ kV/mm}$ , alors qu'il n'est que de  $300 \text{ V/mm}$  près du cylindre. A mesure que la tension croît, l'épaisseur de la région ionisée autour du conducteur central augmente, sans toutefois provoquer un arc entre les deux électrodes Si le conducteur central est négatif par rapport au

$3 \text{ kV/mm}$

cylindre, il crée un flot d'électrons libres dans la région ionisée. Ceux-ci s'attachent aussitôt aux molécules d'air pour les transformer en ions négatifs. Par milliards, ces ions progressent lentement vers le cylindre positif où ils se débarrassent de leurs électrons parasites pour redevenir des molécules neutres.

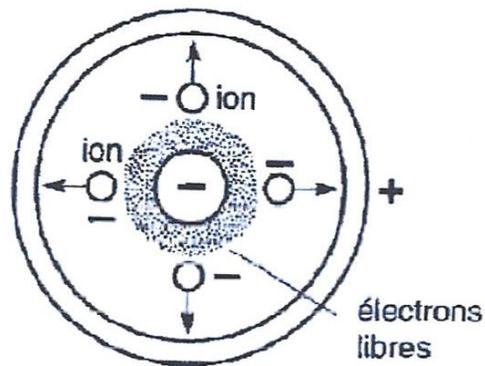


Fig4 : filtre électrostatique

La précipitation électrostatique utilise ce principe pour purifier les fumées d'usines et empêcher ainsi des millions de tonnes de poussière de se répandre dans l'atmosphère. Le système est composé d'un fil conducteur raccordé à une source de haute tension, entouré d'un cylindre métallique, ce dernier servant à la fois de cheminée pour les gaz poussiéreux et d'électrode Fig(05).

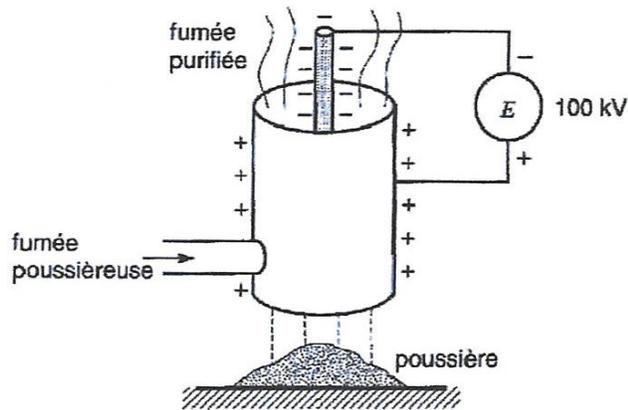


Fig5: Épuration de la fumée.

Les ions négatifs mentionnés précédemment s'attachent aux particules de poussière. La force électrostatique les amène vers le cylindre où elles perdent leur charge et, devenant des particules neutres, tombent dans des récipients appropriés.

#### II.2.1 décharge couronne :

##### II.2.1.1 Définition :

L'effet de couronne se produit sur tous les conducteurs et lignes soumis à une haute tension. Dès que le champ électrique à la surface du conducteur devient suffisamment grand (supérieur au champ d'ionisation de l'air,  $\approx 30 \text{ kV/cm}$ ), l'air s'ionise et forme autour du conducteur une couronne lumineuse (Fig6).

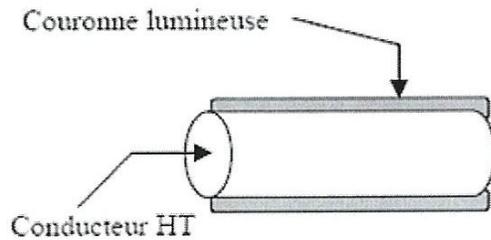


Fig 6

La lumière de la décharge couronne n'est visible que sur les lignes THT ( $U \geq 400$  kV), lorsqu'il fait sombre.

**Inconvénients** : pertes couronne, interférence avec les ondes radio, bruit et vibrations des conducteurs.

**Avantages** : plusieurs applications industrielles (Filtres électrostatiques, séparateurs électrostatiques, photocopie...)

L'effet couronne devient très gênant pour les réseaux à partir de 345 kV. Le bruit et le champ électrique superficiel représentent actuellement les paramètres d'environnement les plus importants à prendre en considération lors de la construction de nouvelles lignes  $U \geq 750$  kV. L'effet couronne se produit principalement sur les conducteurs de ligne, mais aussi sur les parties métalliques aiguës reliées à la haute tension, telles que sur l'isolateur, surtout par temps humide.

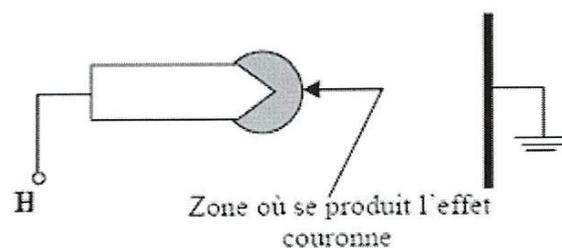


Fig 7

### II.2.1.2 Champ électrique :

Le champ électrique produit par le conducteur diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du conducteur, il s'agit donc d'un champ non uniforme.

Important : L'effet couronne a lieu dans un champ non uniforme.

Soit un système d'électrodes pointe-plan. Que se produit-il si le champ près de la pointe est égal à  $30 \text{ kV/cm}$  ?

Réponse : Décharge couronne

Le champ étant non uniforme, l'ionisation se produit uniquement près de la pointe et ne se produit pas près de l'électrode plane.

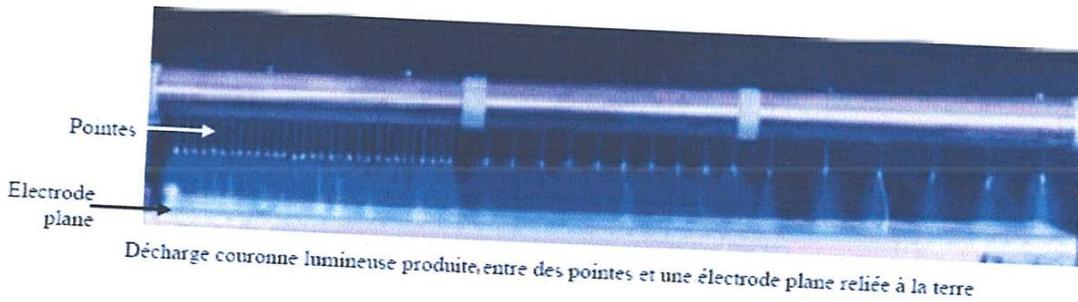


Fig8

### II.2.1.3 Les décharges couronnes :

#### Les plasmas

Dans la nature, tous les corps sont constitués à partir d'atomes (ou d'assemblages d'atomes, appelés molécules). A son tour, un atome est composé :

- ✓ d'un noyau central, charge positivement, qui est un assemblage de protons et de neutrons.
- ✓ d'un nuage périphérique composé d'un cortège d'électrons, charges négativement, qui tournent à des vitesses très élevées autour du noyau.

A l'état solide, les atomes sont fermement emprisonnés dans un réseau rigide (comme dans la glace par exemple). Lorsque la température monte, le solide se liquéfie et passe à l'état liquide, où les atomes peuvent glisser les uns par rapport aux autres, ce qui permet au liquide d'épouser la forme d'un récipient. En continuant de chauffer, l'état gazeux est atteint : les atomes se déplacent alors librement, indépendamment les uns des autres (l'eau s'est transformée en vapeur). Enfin, à de très hautes températures (plusieurs millions de degrés), les constituants de l'atome se séparent, noyaux et électrons se déplacent indépendamment et forment un mélange globalement neutre : c'est un plasma.

Un plasma est un gaz ionisé obtenu en fournissant de l'énergie à la matière par adjonction d'un champ électrique ou magnétique, ou sous forme de chaleur.

Ce quatrième état de la matière, qui se retrouve dans les étoiles et le milieu interstellaire, constitue la majorité de notre univers (autour de 99 %). Il n'existe pas sur Terre à l'état naturel, si ce n'est dans les éclairs ou les aurores boréales, mais il est produit artificiellement en appliquant des champs électriques ou magnétiques suffisamment puissants pour séparer le noyau de ses électrons dans les gaz.

On distingue 2 types de plasmas :

- ✓ Les plasmas thermiques pour lesquels les ions, les électrons et les molécules ont des températures sensiblement identiques, typiquement de l'ordre de 5000 K à 50 000 K (utilise notamment pour la fusion thermonucléaire).
- ✓ Les plasmas hors équilibre (ou « froids ») pour lesquels la température électronique (1000 K à 10000K) est supérieure à la température du gaz ambiant (généralement inférieure à 500 K).

Les plasmas froids peuvent être formés par des décharges couronnes. Ces dernières sont particulièrement bien adaptées à la formation de plasmas froids car aucun autre type de décharge ne permet en effet une localisation et une distribution en énergie des espèces (électrons, molécules neutres ou ions) aussi bien définie.

#### **II.2.1.4 Chargement des polymères par décharge couronne**

La création des charges sur la surface des isolants polymères peut être réalisée par plusieurs procédés : décharge couronne, triboélectricité, piézoélectricité ou par faisceaux d'électrons. Dans

la plupart des applications électrostatiques actuelles, le chargement est réalisé soit par décharge couronne soit par triboélectricité, et ce en raison de leur simplicité, sûreté et faible coût.

La décharge couronne est une décharge autoentretenu non destructive qui peut apparaître lorsqu'une différence de potentiel suffisamment élevée est appliquée entre des électrodes asymétriques, tels que fil plan ou pointe plan. La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace inter-électrodes. Au voisinage de l'électrode pointue, le champ peut être suffisamment élevé pour provoquer l'ionisation de l'air et les charges qui en résultent sont entraînées vers l'électrode à faible champ où se situe la surface à charger. L'intervalle d'aire entre électrode comporte deux zones : une zone ionisée et une zone de dérive (fig.1.8).

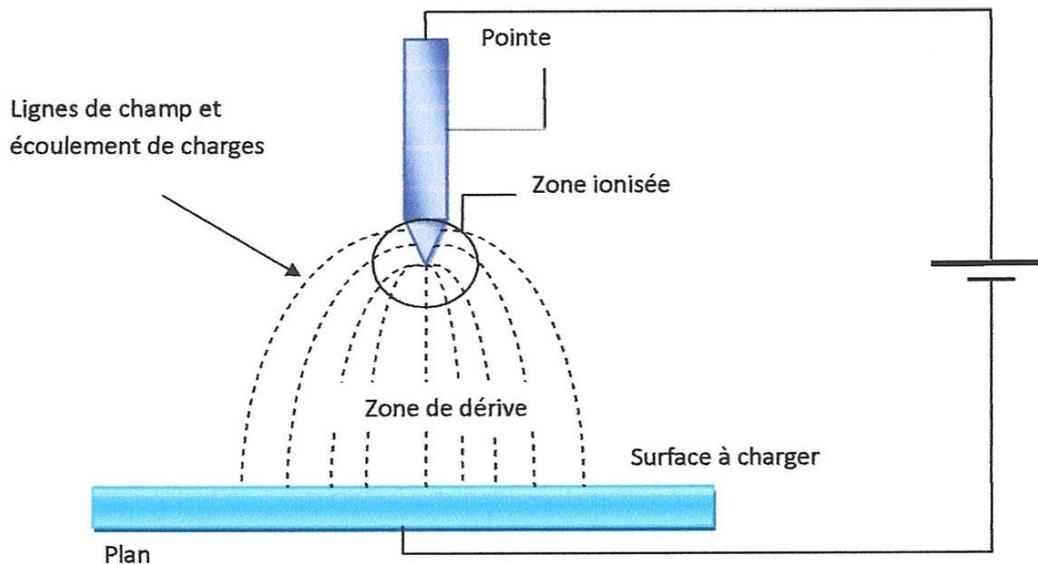


Figure 9. Décharge couronne dans une configuration pointe plan

Si la surface cible est un matériau isolants, les charges entraînées par le champ se déposent et cumulent en surface et donne lieu à un potentiel de surface exprimé en fonction de la densité de charge  $\sigma_s$  par :

$$V_s = \frac{\sigma_s}{\epsilon} e$$

Où  $e$  représente l'épaisseur de l'isolant et  $\epsilon$  sa permittivité.

En progressant dans le volume de l'isolant, les charges forment une distribution de volumique, nommé charges d'espace, et entraînent ainsi la distortion du champ au sein de l'isolant. De ce fait, le potentiel à la surface d'isolant déposé sur une électrode mise à la masse est donné par :

$$V_s = -\int_0^e E dx$$

Le signe de la charge déposée sur l'isolant dépend de la tension appliquée à l'électrode active. Par conséquent, la décharge couronne peut être positive ou négative selon la polarité de la tension appliquée à l'électrode pointue.

#### II.2.1.5 Décharge couronne positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand la pointe est portée à un potentiel positif et la plaque à la terre. Dans ce cas, dans la zone de champ intense autour de la pointe, des électrons sont produits par photo-ionisation et sont accélérés vers l'anode (la pointe). Autour de celle-ci, se développe alors une région de forte ionisation : zone en pointillé à la figure 1.9. Les ions positifs ainsi créés sont repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance de la pointe (inférieur au millimètre) au-delà de laquelle le champ électrique trop faible ( $< 30$  kV/cm dans l'air à pression atmosphérique) ne permet plus la création d'ions positifs. Les ions positifs migrent donc vers la cathode (la plaque).

Différents régimes existent pour la décharge couronne. Juste au delà du seuil d'apparition, la décharge couronne positive est pulsatoire. En augmentant la tension, la décharge positive devient une décharge lumineuse continue. Pour les tensions très élevées, la décharge se transforme en claquage (arc).

A l'air ambiant, les espèces dominants, en décharge positive, sont des ions hydratés de formule générale  $(H_2O)_n H^+$ , où  $n$  est un entier qui augmente avec l'humidité. Aux faibles taux d'humidité d'autres ions deviennent dominants tels que  $(H_2O)_n NO^+$  et  $(H_2O)_n (NO_2)^+$ .

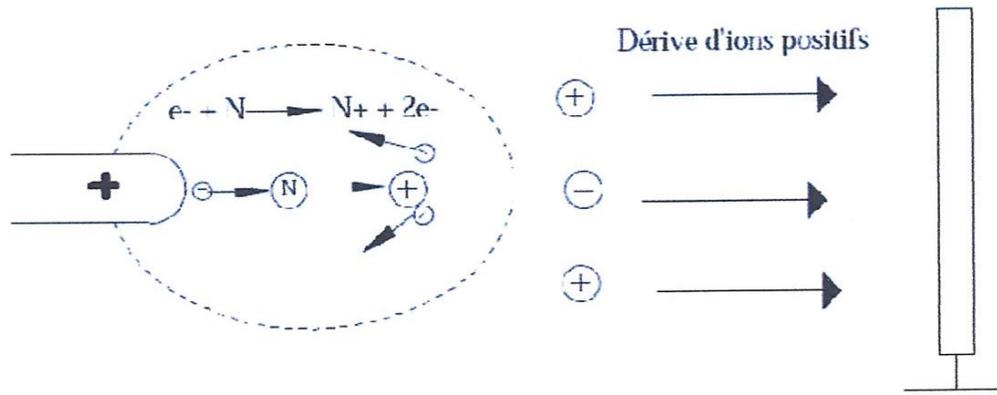


Figure10. Description de la décharge couronne positive

### II.2.1.6 Décharge couronne négative

Dans le cas où la pointe est portée à un potentiel négatif, il y a toujours création d'électrons par photoionisation et apparition de la zone d'ionisation autour de la pointe. Les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode (fig 11).

Au-delà du seuil d'apparition, la décharge couronne négative a un régime pulsatoire. En augmentant la tension, la décharge négative atteint le régime d'impulsions de Trichel dont la fréquence dépend de la tension appliquée. Ces impulsions sont régulières et sont dues au champ électrique qui s'affaiblit au voisinage de la cathode. Les ions négatifs empêchent en effet la multiplication des avalanches électroniques. Une fois ces ions migrés vers l'anode, de nouvelles avalanches apparaissent. L'intervalle entre deux pics de courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs à atteindre l'anode.

En décharge couronne négative les ions les plus dominants sont les ions  $\text{CO}_3^-$ ; à 50% d'humidité relative environ 10% des ions sont hydraté  $(\text{H}_2\text{O})_n \text{CO}_3^-$ .

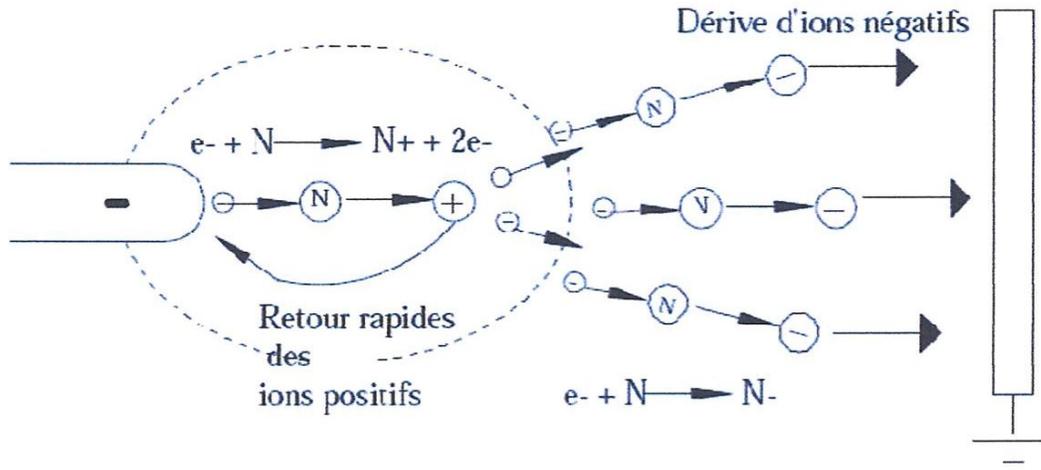


Figure 11. Description de la décharge couronne négative

**II.2.1.7 Décharge couronne alternative**

Dans ce cas, le processus de la décharge soumise à une excitation alternative est identique à ceux décrits pour une excitation continue, dans la mesure où l'intervalle de temps entre les inversions de polarité est suffisamment long pour que toutes les charges résiduelles de l'alternance précédente soient écoulées. Ceci implique l'existence d'une fréquence  $f$  et d'une distance inter-électrodes  $d$  limites reliées par l'expression suivante :

$$d_{max} = \frac{\mu E}{2\pi f} \Rightarrow f_{max} = \frac{\mu E}{d}$$

Avec  $\mu$  la mobilité des ions et  $E$  l'amplitude du champ électrique.

Tant que la fréquence est inférieure à  $f_{max}$  la décharge couronne alternative se comporte comme en continu. Par contre si l'excitation est supérieure à cette fréquence  $f_{max}$ , la charge d'espace va osciller et augmenter à chaque période entre les électrodes. Cet effet cumulatif aura pour conséquence des passages à l'arc pour des potentiels plus faibles qu'en continu.

**Formation des décharges dans les gaz :****1. Mécanismes d'activation du gaz et paramètres fondamentaux**

La formation d'un plasma est due à un transfert d'énergie cinétique par collision entre un électron accéléré par un champ électrique et les molécules neutres du gaz. Les collisions sont de deux types :

- ✓ les collisions élastiques
- ✓ les collisions inélastiques.

Les premières entraînent le transfert d'une certaine quantité de mouvement des électrons vers les molécules neutres qui se trouvent alors accélérées. Ces collisions ne modifient donc pas l'énergie interne des molécules en question, mais sont responsables de phénomènes thermiques (conduction et diffusion de chaleur au sein du gaz) et hydrodynamiques.

Les collisions inélastiques sont quant à elles responsables de la fragmentation des molécules impactées ou de la modification de la distribution de l'énergie (modification de l'état vibrationnel, translationnel ou électronique). Si son énergie cinétique est suffisante, un électron peut, lors d'une collision inélastique, ioniser ou exciter la molécule neutre rencontrée.

Pour obtenir une description plus formelle de ces processus, il est intéressant de déterminer le nombre de chocs que subira l'électron par unité de temps. Nous supposons que la distribution de vitesse des molécules du gaz obéit à la loi de Maxwell-Boltzmann :

En admettant que l'électron se déplace à une vitesse moyenne  $v$  pendant un temps  $Yt$ , il parcourt alors la distance  $v \cdot Yt$  et balaie un domaine d'espace de volume  $Z \cdot v \cdot Yt$ ,  $Z$  représentant la section efficace de collision entre l'électron et une molécule. Le nombre de collision est donc égal à :

$$\sigma \cdot v \cdot \delta t \cdot N$$

Avec  $N$  = densité du gaz en nombre de molécules par unité de volume.

Le nombre de collisions par unité de temps se déduit alors de l'expression précédente :

$$n = \sigma \cdot v \cdot N$$

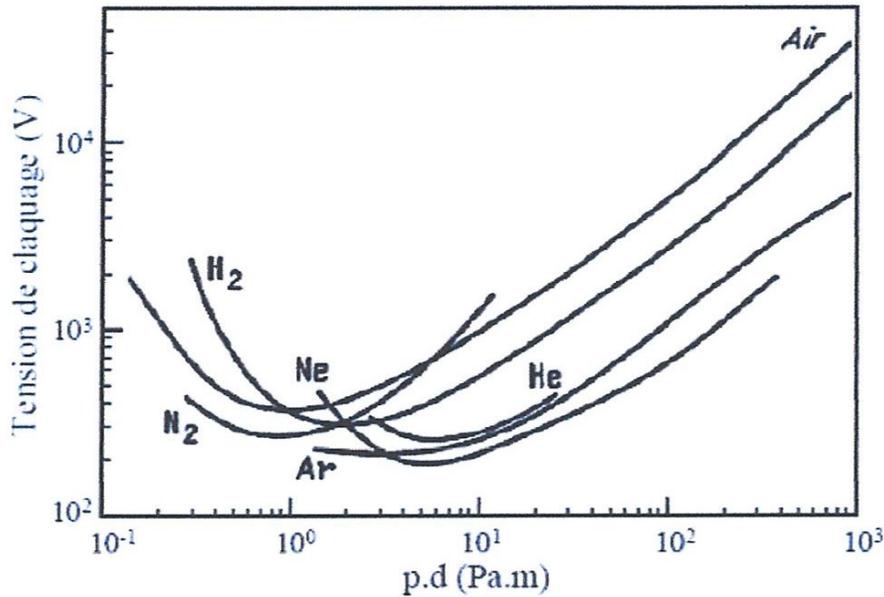


Fig12: Tension de claquage pour différents gaz en fonction du produit pression, distance inter électrode.

Nous pouvons constater que pour un gaz à pression atmosphérique, les courbes passent par un minimum pour une distance inter électrodes d'environ 10 Om ( $p.d = 0,5$  à 5 environ). Cela signifie que, pour la production de décharges à pression atmosphérique dans des conditions d'utilisation usuelles ( $d \leq 1$  mm), la tension de claquage est une fonction croissante de la distance inter électrode.

Nous pouvons constater que pour un gaz à pression atmosphérique, les courbes passent par un minimum pour une distance inter électrodes d'environ 10 Om ( $p.d = 0,5$  à 5 environ). Cela signifie que, pour la production de décharges à pression atmosphérique dans des conditions d'utilisation usuelles ( $d \leq 1$  mm), la tension de claquage est une fonction croissante de la distance inter électrode.

**II.3.1.1 Charges électriques:**

Un isolant est un matériau qui ne laisse pas circuler les électrons librement : par exemple l'air, le plastique, le verre sont des isolants car la charge ne se déplace pas au sein de la matière. Un conducteur est un matériau qui laisse circuler les électrons librement : les métaux, l'eau salée et le corps humain par exemple. Certaines substances comme les métaux sont des meilleurs conducteurs que d'autres.

**II.3.1.2 Détection des charges :**

Les scientifiques ont dressé une liste qui permet de déterminer la nature de la charge acquise par une substance lorsqu'elle est frottée à une autre substance : cette liste détermine le potentiel électrostatique de diverses substances.

Voir annexe.

Pour détecter la nature des charges, on peut utiliser un appareil qui s'appelle l'électroscope : grâce aux mouvements des feuilles (s'attirent ou se repoussent) on peut prédire d'après la Loi de Coulomb la nature des charges.

**Méthodes d'électrisation:****A- Électrisation par frottement**

triboélectricité (du grec *tribein* qui signifie frotter) désigne le phénomène électrostatique par lequel lorsque l'on met en contact deux matériaux de nature différente, une partie des électrons de la surface de contact d'un des deux matériaux est transféré à l'autre, et ce transfert subsiste lors de la séparation. L'effet triboélectrique peut être augmenté si l'on fournit de l'énergie mécanique en frottant les matériaux l'un contre l'autre.

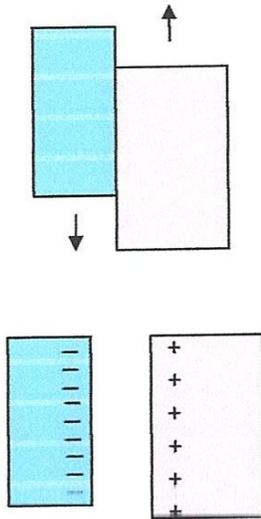


Fig13: La triboélectricité (électrisation par frottement)

### B- Électrisation par contact:

Il peut arriver quand tu touches la poignée de la porte après avoir traversé une pièce avec un tapis que tu ressentes un choc : le frottement de tes pieds avec le tapis du sol a créé une charge qui va être transmise par contact entre ton corps et la poignée.

Un objet qui s'électrise par contact reçoit toujours le même type de charge que possède l'objet chargé initialement : si je suis chargé positif et que je touche la porte, alors celle-ci sera chargée positivement à son tour.



Fig 14

**C- Électrisation par induction :**

C'est une électrisation qui se produit sans contact direct : on approche un objet chargé d'un autre objet neutre et celui-ci prend une charge contraire.

Par exemple si j'approche une tige chargée négativement d'un autre tige neutre, alors d'après la Loi de Coulomb les particules positives de ma tige neutre vont être attirées par la charge négative et vont donc se déplacer dans la direction de la tige chargée : les charges de la tige neutre ne sont plus réparties uniformément et donc la tige devient chargée positivement.

**Chapitre III**

**Mesure de l'état de charge**

## Introduction

La mesure des grandeurs électrostatiques occupe une place importante dans la caractérisation des matériaux diélectriques et la compréhension des phénomènes qui en résultent. Ces grandeurs fixes, ou faiblement variables dans le temps, sont souvent de faibles quantités, rendant ainsi leur mesure une opération délicate. Dans ce cas, l'instrument de mesure doit être capable de quantifier la grandeur en question sans pour autant la perturber ni être influencé par les circonstances de la mesure.

La mesure du potentiel de surface, de la charge ou du champ électrique peut être réalisée par trois types d'instruments : sonde à induction (sonde capacitive), moulin à champ et sonde électrostatique à annulation du champ. Tous trois sont basés sur le principe de l'induction électrostatique.

Dans ce qui suit nous présentons les instruments et les méthodes de mesures électrostatiques utilisés dans la caractérisation des matériaux diélectriques.

### 3.1. Seau de Faraday

Le seau de Faraday permet la mesure directe de la charge totale des objets déplaçables et isolés de la masse, qu'ils soient conducteurs ou isolants. Cette technique est appropriée pour la mesure sur des liquides, sur des poudres dans les conduites ou sur des matériaux en pièces.

Le seau de Faraday est constitué d'une enceinte conductrice dans laquelle l'objet chargé est introduit de telle sorte que tout le champ créé par la charge sur l'objet soit capturé par la surface de l'enceinte. Cette enceinte (le seau) doit être isolée par rapport à la masse et protégée contre le couplage au champ venant de l'extérieur. Pour l'isoler, le seau est placé dans une deuxième cage métallique de protection mise à la masse sans qu'il y ait une liaison entre les deux (fig.3.1.a).

En vertu du théorème de Gauss, les charges placées dans le seau créent un flux de lignes de champ à travers la surface, qui s'exprime par :

$$\oiint E \cdot dS = \frac{\sum Q_i}{\epsilon} \quad (3.1)$$

avec  $E$  : le champ électrique créé par la charge interne  $Q_i$  à travers la surface  $S$ .  $\epsilon$  étant la permittivité.

Ce théorème de Gauss montre alors que la charge totale engendre, par induction, une charge image équivalente à la charge nette interne. De ce fait, la mesure de la charge portée par le seau permet la mesure de la charge sur l'objet se trouvant dans le seau.

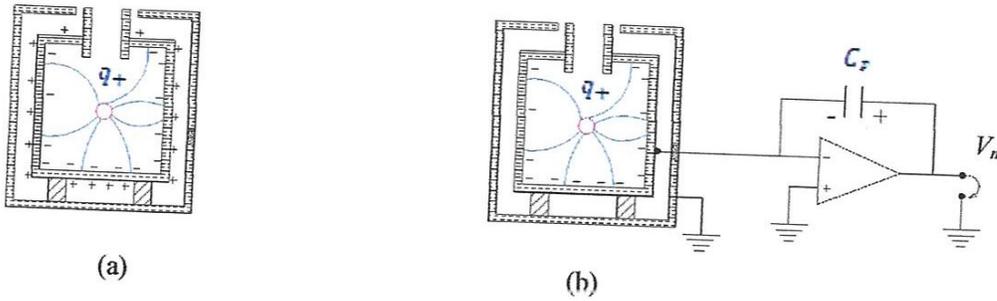


Figure 3.1. Mesure de la charge à l'aide d'un seau de Faraday. (a) principe de la méthode et (b) circuit de mesure

En connectant le seau à un circuit de mesure comportant une capacité  $C_f$  de valeur connue (fig.3.1), toute la charge portée par le seau apparaîtra sur la capacité  $C_f$ . La différence de potentiel entre le seau et la masse, mesurée à la sortie du circuit, permet la détermination de la quantité de charge à mesurer :

$$q = C_f \cdot V_m \quad (3.2)$$

Pour la fiabilité des mesures, le seau de Faraday doit satisfaire deux conditions essentielles : (i) Le seau doit avoir une géométrie assurant un couplage parfait avec la charge interne. Cela implique que le seau doit être suffisamment profond et fermé (ii) Il doit être bien protégé contre le couplage avec des champs externes, moyennant un écran métallique, et bien isolé par rapport à cet écran.

### 3.2. Sonde capacitive

Il est clair que le seau de Faraday n'est pas convenable à la mesure de la distribution des charges surfaciques notamment sur des objets dont le déplacement est délicat ou lorsque une résolution spatiale est nécessaire. La sonde capacitive ou à induction est l'instrument le plus populaire pour la mesure de la charge surfacique et le potentiel de surface et dont le principe est à la base de tous les autres instruments. La sonde capacitive, proposée par Lord Kelvin en

1898, possède un principe de fonctionnement similaire au seau de Faraday. Les mesures se font sans contact avec la surface chargée (fig.3.2), la sonde étant constituée d'une plaque métallique ou d'un fil reliés à une capacité de mesure et positionnés à une faible hauteur au dessus de la surface chargée. Elle peut être aussi entourée d'une électrode de garde reliée soit à la masse soit portée au même potentiel que la sonde. Son principe de fonctionnement est simple, les charges à mesurer créent par influence électrostatique une charge sur la surface de la sonde, dont la différence de potentiel  $V$  par rapport à la masse est mesurée à travers la capacité de mesure  $C_{pg}$  (fig.3.2). La charge induite sur la plaque métallique est certainement différente de celle sur la surface chargée vue la hauteur de la sonde. Le potentiel mesuré est relié à la charge de surface par la relation :

$$V = \frac{AC_{ps}}{C_s C_{pg}} \sigma_s \tag{3.3}$$

où  $\sigma_s$  est la densité surfacique de charge,  $C_s$  la capacité du film déterminée par la surface  $A$ . De (3.3) il apparait que la maximisation du signal  $V$  récupéré peut être réalisée en maximisant le produit  $A.C_{ps}$ , autrement dit, en réduisant de la hauteur de la sonde ou en augmentant sa surface.

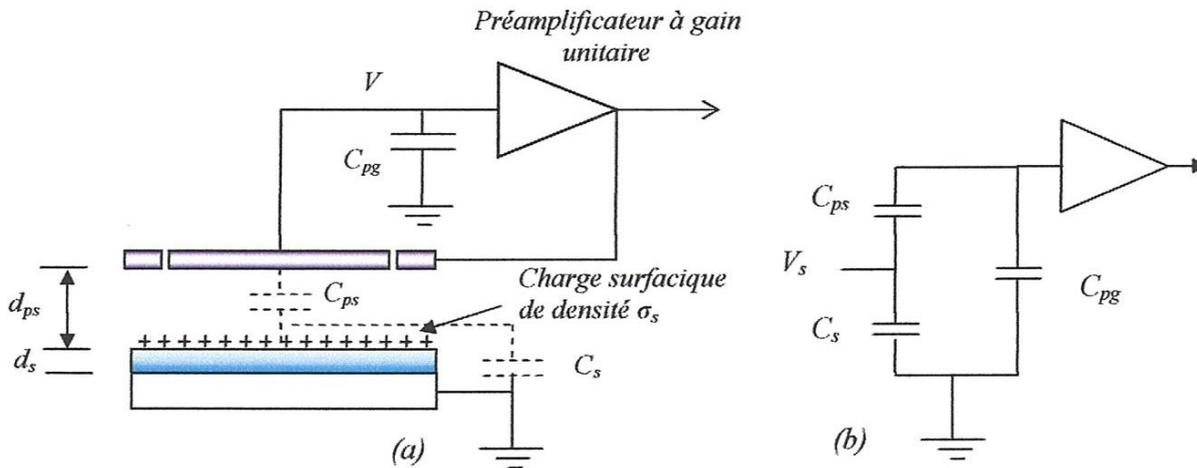


Figure 3.2. Schéma de principe de la sonde capacitive,  $d_s$  épaisseur du film,  $d_{ps}$  hauteur de la sonde (a) ; schéma équivalent,  $V_s$  potentiel de la surface chargée (b)

3.3. Sonde capacitive vibrante

En 1932 Zisman introduit la sonde capacitive vibrante. La vibration de la sonde par mouvement perpendiculaire à la surface chargée entraîne la variation de la quantité de charge induite sur la sonde et ainsi la création d'un courant  $i=dQ/dt$ , dont la valeur est proportionnelle à l'amplitude et la fréquence de la vibration (Figure 3.33). La valeur de la charge est ensuite obtenue par intégration du courant induit à travers des circuits appropriés.

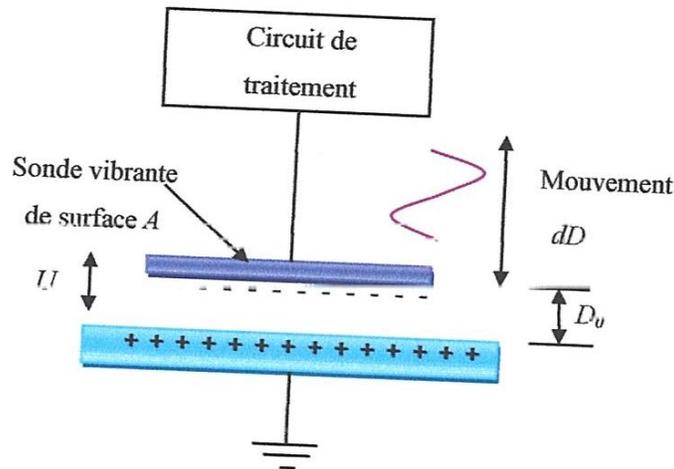


Figure 3.3. Sonde capacitive vibrante

Si le mouvement de la sonde est sinusoïdal, la distance  $D$  entre la sonde et la surface de la couche est égale à :

$$D = D_0 + D_1 \sin(\omega t) \tag{3.9}$$

avec  $D_0$  la position de la sonde sans vibration et  $D_1$  amplitude de la vibration [m],  $\omega$  désigne la pulsation de la vibration.

La capacité du système sonde - couche est alors :

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{D_0 + D_1 \cdot \sin(\omega t)} \tag{3.10}$$

Le courant induit, dû au mouvement, peut être déterminé par  $i = U \cdot dC / dt$  :

$$i = U \cdot \frac{d}{dt} \left( \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{D_0 + D_1 \cdot \sin(\omega t)} \right) \tag{3.11}$$

$$i = -U \cdot \epsilon \epsilon_0 A \frac{D_1 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)}{[D_0 + D_1 \sin(\omega t)]^2} \quad (3.12)$$

avec  $U$  différence de potentiel entre la sonde et la couche.  $A$  surface de la sonde.

### 3.4. Sonde capacitive pour la mesure du potentiel

Le principe de la sonde Kelvin, de type capacitive vibrante, est basé sur le fait que tout changement de la distance entre électrodes pendant un intervalle de temps  $dt$  nécessite une certaine quantité  $dQ$  à fournir ou à extraire de la sonde de sorte que la tension entre électrode reste constante. De l'expression de la charge  $Q = U \cdot \epsilon \epsilon_0 A/D$ , lorsque la sonde vibre on a :

$$i = \frac{dQ}{dt} = U \cdot \epsilon \epsilon_0 A \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{D(t)} \right) \quad (3.13)$$

Connaisant la distance de vibration  $D(t)$  et la valeur du courant  $i$ , la différence de potentiel  $U$  est donnée par :

$$U = \frac{i}{\epsilon \epsilon_0 \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{D(t)} \right)} \quad (3.14)$$

Si la sonde est connectée à la masse de sorte que son potentiel soit nul, la tension  $U$  devient égale au potentiel à la surface sous test.

De manière similaire, la sonde capacitive vibrante peut être utilisée pour la mesure du potentiel de surface en utilisant la méthode d'annulation du courant. Cette méthode consiste à appliquer une tension externe sur la sonde ajustable jusqu'au moment où le potentiel de la sonde soit égale à celui de la surface chargée, chose qui entraîne l'annulation du champ et ainsi le courant induit  $i$ . A ce moment, le potentiel de la sonde est égal au potentiel de la surface chargée.

### 3.5. Moulin à champ

On désigne par « moulin à champ » un capteur capacitif à induction dont la variation de la capacité entre la sonde et la surface est obtenue par mouvement mécanique, généralement rotatif. La Figure 3.44 montre le principe de fonctionnement d'un moulin à champ. Il est constitué de deux plaques métalliques, une mise à la masse et qui effectue le mouvement de

rotation, servant comme vanne au passage du champ, et la seconde fixe, constitue l'élément sensible, et reliée à un ampèremètre. Lorsque la plaque métallique, appelée hacheur, se met en mouvement le champ incident sur la surface sensible entraîne un courant induit :

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(\sigma_s A) \quad (3.15)$$

avec  $A$  la surface de l'élément sensible couverte par le champ,  $\sigma_s = \varepsilon \cdot E$  étant la densité de charge à la surface de l'élément sensible. Puisque le champ incident  $E$  est stationnaire, le courant induit est dû à la variation de la surface  $A$  :

$$i = \varepsilon \cdot E \cdot \frac{dA}{dt} \quad (3.16)$$

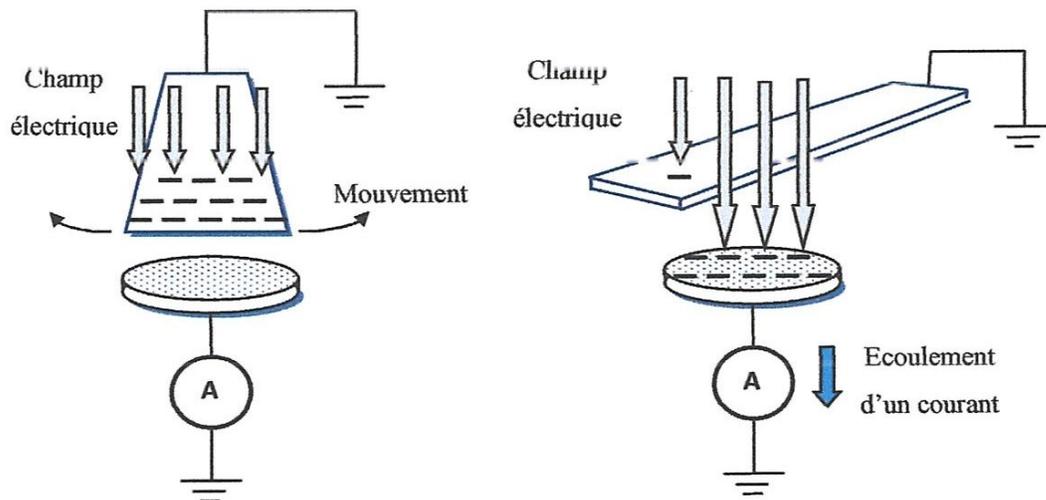


Figure 3.4. Principe de fonctionnement du moulin à champ

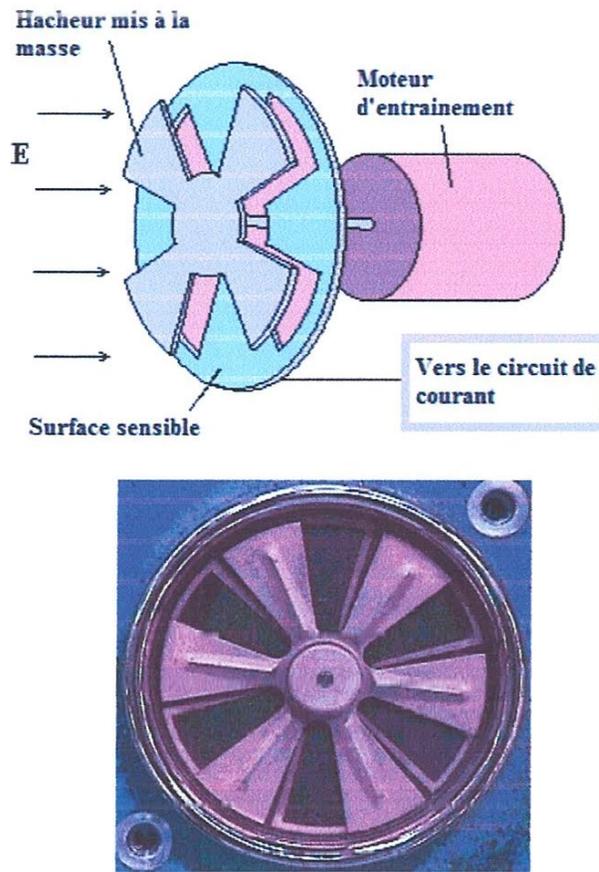


Figure 3.5. Constitution pratique d'un moulin à champ, et en dessous son image réelle

En pratique, l'hacheur et l'élément sensible possèdent une forme d'hélice et le mouvement de l'hacheur est réalisé pratiquement par un moteur d'entraînement (Figure 3.55). Ce système de rotation limite, cependant, le temps de réponse de l'instrument.

### 3.6. Voltmètre électrostatique

Le voltmètre électrostatique, nommé aussi « voltmètre sans contact », utilisant une boucle de retour d'annulation du champ, est un instrument versatile en électrostatique appliquée. Ce voltmètre a été largement utilisé pour la caractérisation des isolants chargés. Il peut être basé sur une sonde capacitive, comme nous l'avons déjà mentionné dans le paragraphe, ou sur un moulin à champ. La figure 3.6 montre le principe de fonctionnement d'un voltmètre électrostatique avec système suiveur (asservi).

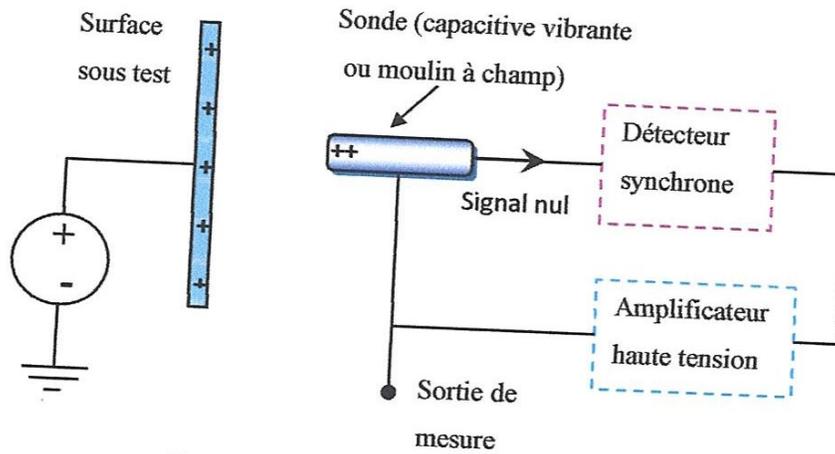


Figure 3.6. Principe du voltmètre électrostatique

Lorsqu'une surface chargée est exposée à la sonde, qu'elle soit capacitive ou moulin à champ, cette dernière délivre un courant induit vers un circuit qui le détecte et l'amplifie. La sortie de l'amplificateur est connectée à la sonde, formant ainsi une boucle à retour négatif. Le signal fourni par la sonde est détecté, amplifié et retourné à la sonde jusqu'à son quasi annulation. L'annulation du signal implique l'égalité des tensions, de la sonde et de la surface chargée, et de ce fait le champ incident sur la sonde est nul. En conditions d'équilibre, le signal de la sonde approche zéro, l'amplificateur fournit une tension à la sonde égale à celle sur la surface chargée. Le signal est d'autant plus petit que le gain de l'amplificateur est grand. Les limites du voltmètre sont dues à la saturation de l'amplificateur haute tension.

### 3.7. Technique de mesure du potentiel de surface

Durant les années 70 de nombreux travaux de mesure et caractérisation des matériaux isolants ont été réalisés grâce aux sondes électrostatiques, notamment celles utilisant la méthode d'annulation du champ.

Cependant, la difficulté d'interprétation des phénomènes observés, à partir d'une simple mesure du potentiel de surface, tel que l'énigmatique « cross-over », l'injection, la polarisation et la conduction surfacique, et d'autre part, la liaison entre les charges d'espace et le phénomène de vieillissement, ont permis l'émergence, durant les années 80, de nouvelles techniques de mesure de la charge à l'intérieur du volume de l'isolant. Ces techniques, dites perturbatrices, consistent à *perturber* les charges dans le volume de l'isolant, par un signal électrique ou à travers une onde thermique, et d'en mesurer les conséquences qui peuvent être une onde acoustique ou un potentiel de surface. Ces techniques sont cependant très coûteuses,

difficiles à mettre en œuvre et limités aux échantillons relativement épais. Souvent en pratique, la mesure des grandeurs surfaciques est suffisante à la caractérisation et au jugement des propriétés diélectriques des matériaux isolants. Par conséquent, la caractérisation des matériaux isolants par mesure du potentiel ou de la charge de surface occupe encore une place importante dans l'électrostatique appliquée en raison de sa simplicité et de son faible coût.

Le principe de la technique de mesure de Déclin de Potentiel de Surface (DPS) consiste à déposer une charge électrique à la surface de l'isolant, en le soumettant à une décharge couronne, à un faisceau d'électrons ou simplement à un frottement, puis par le biais d'une sonde, utilisant l'annulation du champ, on mesure l'évolution du potentiel dans le temps en un point, ou tout au long de la surface. Les mesures sont effectuées dans des conditions proches de celles de fonctionnement du matériau. La figure 3.7 montre le schéma de principe de l'installation de mesure de déclin de potentiel de surface.

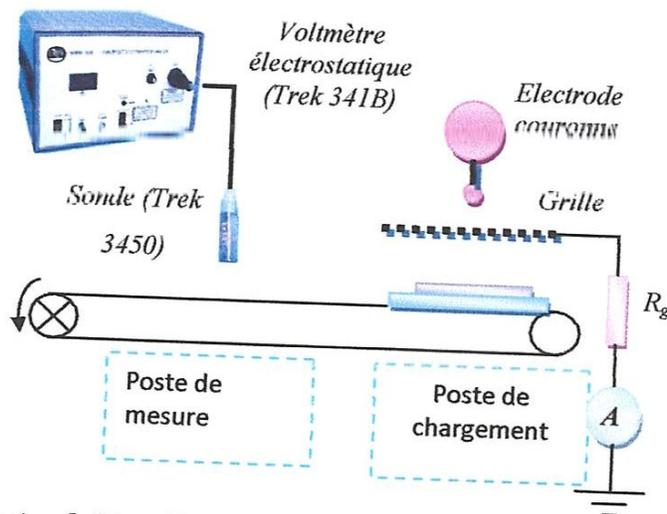


Figure 3.7. Principe de l'installation de mesure du déclin de potentiel de surface

### 3.8. Dynamique des charges à la surface des films polymères

Comme expliqué au paragraphe précédent, la mesure de l'état de charge à travers la mesure du potentiel de surface nécessite deux étapes : l'étape de charge et l'étape de mesure par la sonde de potentiel. En utilisant cette technique, on a mesuré le potentiel à la surface des films polyéthylène téréphtalate (PET) d'épaisseur 0.5 mm.

#### a. Déclin de potentiel des films chargés par décharge couronne

La figure 3.8 montre des courbes de déclin de potentiel à la surface d'un film de polyéthylène téréphtalate – PET d'épaisseur 0.5 mm chargé à trois niveaux de tension 1300 kV, 1700 kV et 2100 kV. Pour le cas des films, on remarque que le taux de déclin est d'autant plus important que le niveau de chargement est élevé. De ce fait, les courbes se chevauchent et traduisent ce qui est appelé le « cross-over ». Ce phénomène, largement discuté dans la littérature, est expliqué par l'existence d'un phénomène d'injection à la surface de l'isolant suite à l'augmentation du potentiel de chargement.

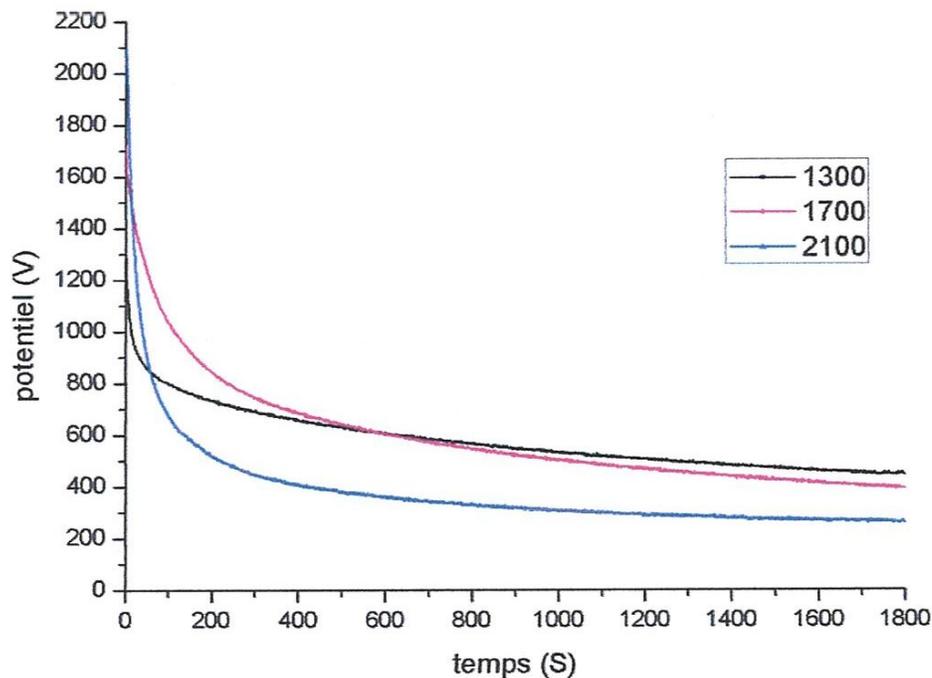


Figure 3.8. Déclin de potentiel à la surface des films de polyéthylène téréphtalate PET

*b. Déclin de potentiel des films chargés par frottement*

La figure 3.9 montre les courbes de déclin du potentiel à la surface des films de PET chargés négativement par frottement contre des tissus de laine. Aucun phénomène de « cross-over » n'est observé, ce qui peut être justifié par l'absence de l'influence de la décharge couronne sur l'injection de charges. On note cependant que le chargement par frottement contre des tissus de laine diminue considérablement la conduction surfacique, ce qui peut encore expliquer le résultat observé.

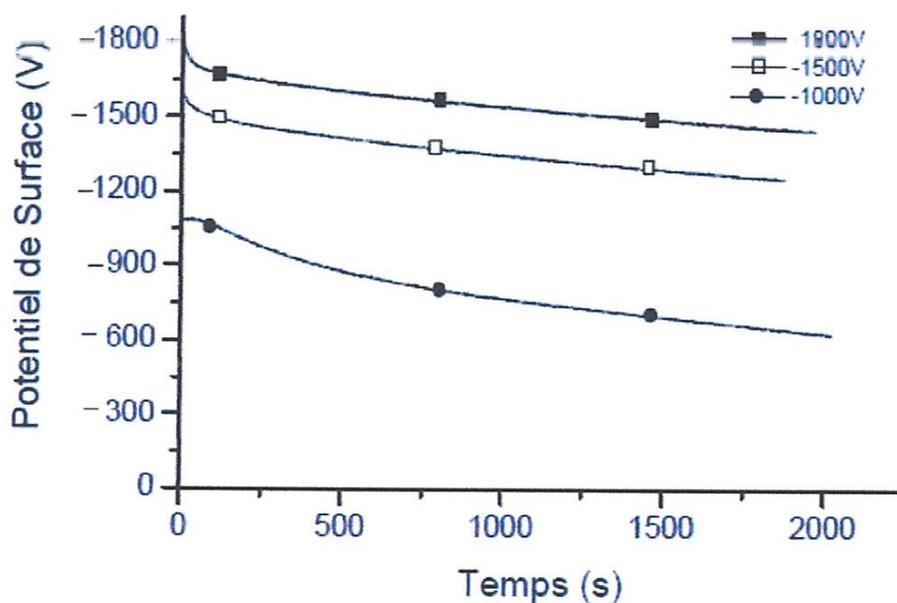


Figure 3.9. Courbes de déclin du potentiel à la surface des Films de PET d'épaisseur 1mm chargés par frottement

### 3.9. Mécanismes de déclin de charges

Plusieurs mécanismes peuvent exister et causent la dissipation des charges à la surface de l'isolant. Dans la littérature on reporte principalement l'existence de quatre phénomènes derrière le déclin : injection, polarisation, conduction surfacique, neutralisation

atmosphérique. La figure 3.10 schématise les mécanismes possibles qui peuvent exister. Ces mécanismes peuvent coexister simultanément mais avec différentes proportions.

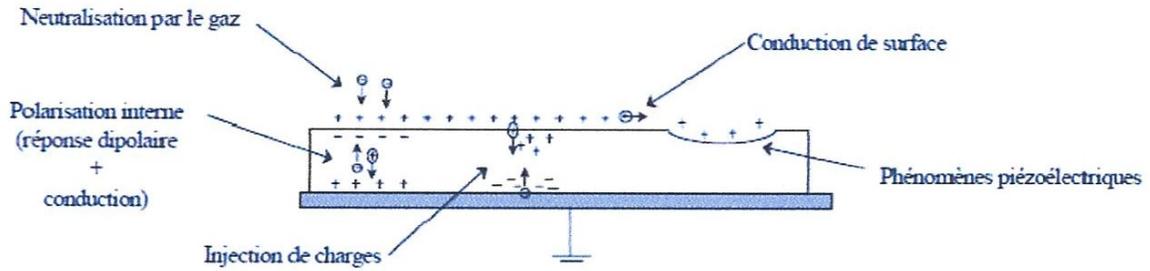


Figure 3.10. *Différents mécanismes possibles qui peuvent expliquer le déclin*

## CONCLUSION

Dans ce mémoire on a pu montrer les caractéristique des isolants (permittivité, résistivité...) qui les donnent un usage très vaste et versatile notamment au domaine électrotechnique et électronique comme les transformateur, condensateurs, les câbles électriques et les équipements d'informatiques...

La technique de chargement est un domaine très important depuis plusieurs années, cette importance revient à la facilité et diverses applications.

Dans ce mémoire on a présenté quelques techniques de chargement (frottement, contacte, décharge couronne...). Ces techniques sont d'une grande importance pour les applications électrostatiques telles que la séparation électrostatique, le filtrage électrostatique, la xérographie ...etc.

La technique de déclin de potentiel de surface (DPS) est une technique simple et puissante qui s'appui sur le suivi de l'évolution du potentiel de surface des polymères isolants au cours de temps préalablement chargés par décharges couronne. Elle nous a permis de quantifier l'état de charge des films polymères par mesure du potentiel.

## *Références bibliographié*

- [1] Amar Tilmatine. Matériaux Diélectriques cour ht Université de Sidi-Bel-Abbès
- [2] N. Hassani<sup>1</sup>, A. Tilmatine<sup>1</sup>, L. Dascalescu<sup>2</sup> Evaluation Du Rapport Signal/Bruit Du Procédé De La Séparation Electrostatique. Université de Sidi-Bel-Abbés, Algérie  
<sup>1</sup>Laboratoire EIAA, IUT Angoulême, France
- [3] Merah Naima-Mémoire master : Isolation des transformateurs, Université de 8mai45 Guelma année 2011
- [4] Rekik Badri: Défaits des transformateurs de puissance Mémoire magister de Mémoire magister Université de Badji mokhtar –Annaba année 2008
- [5]. théodorcwildi (électrotcchnique)