

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat

Département : Électromécanique

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Etude et analyse de la prévention et la protection contre les charges statiques

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle

Par :

Bouras Sarra

Hanachi Mohamed Borhane Eddine

DEVANT LE JUREE

Président de jurées :	Pr Herous Lazher	U.B.M. Annaba
Directeur de mémoire :	Pr Herous Lazher	U.B.M. Annaba
Examineur I :	Mr Abderezzak H	U.B.M. Annaba
Examineur II :	Mme Khalfa D	U.B.M. Annaba
Examineur III :	Mr Kerfali	U.B.M. Annaba

Année 2019

REMERCIEMENTS

En tout premier lieu, Je remercie le bon dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Je remercie Mr. Herous Lazher, membre de jury d'avoir accepté de consacrer une partie de son temps pour juger ce travail.

Enfin Je remercie tous ceux qui m'ont aidés de près ou de loin pour l'élaboration de ce modeste travail.

DEDICACES

J'ai l'honneur à dédier ce modeste travail A mes très chère parents et ma chère sœur, toute la famille et mes amis, je ne peux jamais imaginer une vie sans eux, merci pour votre patience, votre soutien infini ; pour vos précieux conseils au long de ma vie.

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé de Près ou de loin pour l'élaboration de ce modeste travail.

DEDICACES

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ce qui me sont chers

Ce travail est dédié à mon père, décédé plus tôt, qui m'a toujours poussée et motivé dans mes études.

J'espère que, du monde qui est sein maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme,.

Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir dans son vaste paradis.

A ma chère mère

Résumé :

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 préoccupation de notre mémoire concerne les phénomènes d'origine électrostatique et la recherche de méthodes capables d'évaluer la quantité de charges collectées par un matériau ainsi que l'estimation des facteurs concourant à éliminer naturellement ou artificiellement ces phénomènes indésirables. Dans la partie expérimentale, on a essayé d'utiliser une méthode d'atténuation des charges statiques par le passage d'une tension alternatif sur l'isolant.

Mots clés :

Charge statique, prévention, protection, décharge, incendie, électrocution

Summary:

Static electricity remains the most complex risk to assess and prevent, both when considered by equipment and equipment manufacturers and when it occurs in the production and use of facilities. The concern of thesis concerns the phenomena of electrostatic origin and the search for methods able to evaluate the quantity of charges collected by a material as well as the estimation of the factors contributing to eliminate naturally or artificially these undesirable phenomena. In the experimental part, we tried to use a method of attenuation of static charges by the passage of an alternating voltage on the insulator.

Keywords:

Static load, prevention, protection, discharge, fire, electrocution

خلاصة :

لا تزال الكهرباء الساكنة هي أكثر المخاطر تعقيداً في التقييم والوقاية ، سواء عند النظر فيها من قبل الشركات المصنعة للمعدات والتجهيزات وعند حدوثها في إنتاج المرافق واستخدامها. يتعلق موضوع مذكرتنا بالظواهر ذات الأصل الكهربائي والبحث عن طرق قادرة على تقييم كمية الشحنات التي تجمعها المادة وكذلك تقدير العوامل التي تساهم في القضاء على هذه الظواهر غير المرغوب فيها بشكل طبيعي أو اصطناعي. في الجزء التجريبي ، حاولنا استخدام طريقة للتخفيف من الشحنات الثابتة من خلال مرور الجهد بالتناوب على عازل.

كلمات البحث:

تحميل ثابت ، الوقاية ، الحماية ، التفريغ ، النار ، الصعق بالكهرباء

Table des matières

I.1.Introduction :	2
I.2. Phénomènes fondamentaux et définition:	2
I.2.1. Historique de l'électrostatique:	3
1.2.2. Charge électrostatique Q :	4
1.2.3. Champ électrique :	5
1.2.4. Phénomène de charge	6
1.2.5. Décharge électrique :	9
I.3. Nuisances et dangers de l'électricité statique :	10
1.3.1. Nuisances dans les procédés de fabrication :	12
I.4. Problématique:	13
I.5. Conclusion:	13
II.1.Introduction :	15
II.2.Risques des charges statiques :	15
II.3. Nuisances des charges statiques :	18
II.3.1. Nuisances sur les équipements :	18
II.3.2. Nuisances sur l'être humain :	22
II.3.2.1.Les effets immédiats	23
II.3.2.1.1Les brûlures	23
II.3.2.1.2. Les atteintes neurologiques	24
II.3.2.1.3.Les atteintes ventilatoires	24
II.3.2.1.4.Les troubles circulatoires	25
II.3.2.2. Les effets secondaires	25
II.3.2.2.1.Les troubles cardiaques	25
II.3.2.2.2.Neurologiques	25
II.3.2.2.3.Traumatiques	25

II.4.Conclusion :	26
III.1. Introduction :	28
III.2. Prévention et protection contre les charges statiques :	28
III.2.1. Prévention de la répartition des charges :	29
III.2.1.1. Réduction de la création de charges électrostatiques:	30
III.2.2. Protection contre les nuisances électrostatiques:	32
III.2.2.1.Mise à la terre	32
III.2.2.2. Protection du personnel	33
III.2.2.3. Equipement de protection	33
III.3.Partie expérimentale :	35
III.3.1.Types de décharge couronne :	37
III.3.2 Résultats des expériences :	39
III.3.2.1 Effet du potentiel initial:	39
III.3.2.1. Neutralisation des charges par balayage alternatif:	40
III.3. Conclusion :	41
Conclusion générale et perspective:	42
Bibliographies :	43

Liste des Figures

Figure	Page
Figure I.1 : phénomène d'électrisation	02
Figure I.2 : triboélectrisation	08
Figure I.3 : phénomène d'influence	08
Figure I.4 : Electrification par influence	08
Figure I.5 : génération décharges par géométrie plan/plan	10
Figure I.6 : Electrification	10
Figure I.7 : Danger d'électrisation	11
Figure I.8 : Manœuvre dangereuse	11
Figure II.1 : Seuil du courant leur effet	17
Figure II.2 : Décharge électrique	18
Figure II.3 : Décharge sur les équipements électriques	18
Figure II.4 : Décharge dans des stations de connexion	19
Figure II.5 : Sources d'explosion	20
Figure II.6 : Explosion dans un gaz inflammable	20
Figure II.7 : Evolution de la décharge électrique	21
Figure II.8 : Explosion dans une station de service	21
Figure II.9 : Explosion au danger électrique	22
Figure II.10 : Brulure dû a une décharge	24
Figure II.11 : Effet sur le cerveau	24
Figure II.12 : Effet sur le cœur	25
Figure II.13 : Effet sur la peau	26
Figure III.1.a : Mesure de charges statiques manuellement	29
Figure III.1.b : Mesure de charges statiques avec un capteur	30
Figure III.2 : Ionisation de l'air une barre antistatique	31

Figure III.3 : Ionisation de l'air un ventilateur	31
Figure III.4 : ionisation de l'air par un pistolet	32
Figure III.5 : Protection par une mise a la terre	33
Figure III.6.a : Casque isolant	34
Figure III.6.b : Gants isolantes	34
Figure III.6.c : Ecran facial anti UV	34
Figure III.6.d : Bottes isolantes	35
Figure III.6.e : Combinaison de travail	35
Figure III.7.a : Dispositif expérimental	36
Figure III.7.b : Photo du dispositif expérimental	37
Figure III.7.c : Décharge couronne positive	38
Figure III.7.d : Décharge couronne négative	38
Figure III.8.a : Effet du potentiel sur le dépôt - 1400V	39
Figure III.8.b : Effet du potentiel sur le dépôt - 2400V	39
Figure III.9.a : Balayage sur le dépôt -1400V	40
Figure III.9.b : Balayage pour le dépôt -2400V	41

Liste des Tableaux

Tableau	Page
Tableau II.1 : Valeur de charges générée par action	16
Tableau II.2 : Effet de l'intensité sur l'être humain	16

Chapitre I :

Etat de l'art

I.1.Introduction :

Statique signifie stationnaire. Tout ce qui nous entoure, la matière et même l'air, est constitué d'atomes. L'électricité statique repose essentiellement sur la séparation de l'atome de ses électrons. Tous les matériaux sont composés d'atomes. L'atome est la plus petite partie d'un matériau contenant les mêmes propriétés que ce matériau. Chaque atome est composé d'un noyau positif chargé autour duquel gravitent un ou plusieurs électrons négatifs. Au repos, le noyau positif chargé équivaut à la somme des charges négatives des électrons qui gravitent autour de lui. La charge est donc neutre. La perte ou le gain d'électrons par le noyau crée un déséquilibre. Un atome qui perd un ou plusieurs électrons possède donc une charge positive. En revanche, un atome qui en gagne un ou plusieurs possède une charge négative et s'appelle un « ion ». Il existe deux types de charge uniquement : positive et négative.

I.2. Phénomènes fondamentaux et définition:

Toute matière est constituée de charges électriques, positives et négatives. Généralement, la matière est neutre, c'est à dire qu'elle est faite d'autant de charges positives que de charges négatives. L'électricité est un phénomène directement lié à la structure de la matière. Il faut se souvenir que les atomes sont formés d'un noyau (positif) autour duquel tournent un ou plusieurs électrons (négatifs). Les anciens Thalès de Milet, Otto de Guericke, William Gilbert [1] savaient que certains corps, entre autres l'ambre, jouissent, lorsqu'ils ont été frottés, de la propriété d'attirer les corps légers figure 1.1

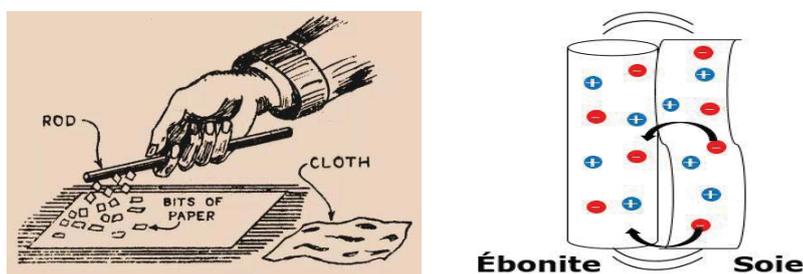


Figure I.1 phénomène d'électrisation

Ces charges demeureront momentanément sur la surface des corps durant quelques secondes à plusieurs mois selon les matériaux et les conditions environnementales. Ces charges électriques constituent ce que l'on appelle de **l'électricité statique**. L'unité de la charge électrique est le coulomb (C). La charge portée par l'électron vaut $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

I.2.1. Historique de l'électrostatique:

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.



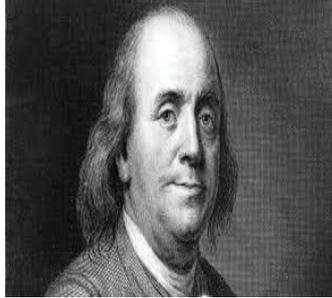
William Gilbert (1544-1603), un physicien et médecin anglais, (vers 1600) qui fut le médecin de la reine Elisabeth I, reprend les expériences des grecs et utilisa pour la première fois le mot Elektron pour qualifier les phénomènes associés à l'électricité.



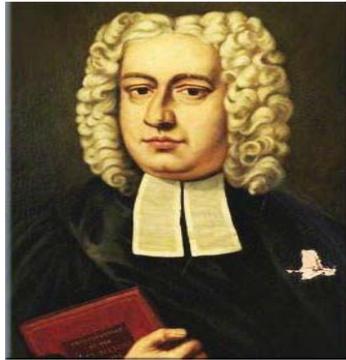
Otto von Guericke (1602-1686) qui était alors le maire de la ville de Madgebourg en Allemagne, Il établit également que l'on peut électriser un corps non électrisé en les mettant en contact avec un autre corps électrisé.



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).



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.



En 1740, un inventeur français, **Jean Théophile Desaguliers** découvrit les métaux et les isolants qu'il a appelé conducteur et non conducteur.



1.2.2. Charge électrostatique Q :

La charge électrostatique est une quantité d'électricité statique Q , La notion de charge étant liée à celle de l'électron, nous pouvons quantifier cette charge électrostatique : $Q = n.e^-$

n représente le nombre d'électrons dans une charge

e^- représente la charge électrique élémentaire $1.6 \cdot 10^{-19}$ [C] ;

Le résultat de ces charges électrostatiques a pour effet de démontrer la présence de forces électrostatiques F .

1.2.3. Champ électrique :

On peut définir le champ électrique à partir de l'interaction coulombienne. Toute région dans laquelle une charge subit une force est appelée un champ électrique. C'est la région de l'espace où il existe un état électrique susceptible de se traduire par des forces. Selon la loi de Coulomb, une charge q_1 , placée dans une région où se trouve une autre charge q_2 , est soumise à une force F qu'exerce q_2 sur q_1 . [2].

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} \vec{r}_{12}$$

Nous disons donc que la charge q_1 est placée dans le champ électrique créé par la charge q_2 .

$$\vec{F} = q_1 \vec{E} \Rightarrow \vec{E} = \frac{q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} \vec{r}$$

Où :

\vec{r} : est le vecteur unitaire dans la direction radiale issue de q_2 .

La force F vient d'être définie comme agissant dans le vide, cependant, dans la plupart des applications les charges existent dans les milieux matériels. Les matériaux contiennent de nombreuses particules chargées comme les protons, électrons, ions, dipôles, ... Le principal effet de toutes ces charges est la diminution du champ électrique au point considéré pour la charge testée. Cette diminution est due à un effet d'écran provoqué aux charges contenues dans le milieu matériel [2]. La diminution est exprimée par la constante diélectrique ϵ_r .

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2} \vec{r}$$

Les charges électriques q_1 et q_2 exercent l'une sur l'autre une force F d'attraction ou de répulsion (suivant leur signe), dirigée suivant la droite qui les joint et dont le module F varie en raison inverse du carré de leur distance d .

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

Avec: $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

Dans un milieu matériel de permittivité relative ϵ_r , l'interaction coulombienne est divisée par ϵ_r , et s'exprime par : $K = 1/4\pi\epsilon_0\epsilon_r = 1/4\pi\epsilon$

Où : ϵ_r : permittivité relative du matériau souvent appelée constante diélectrique

ϵ_0 : Permittivité du vide = $8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m

ϵ : Permittivité absolue $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$

Cette loi peut être généralisée à un système de n charges.

La force F_i qui s'exerce sur la charge q_i s'exprime alors :

$$\vec{F}_i = \sum_{i \neq j} \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon r_{ij}^2} \vec{r}_{ij}$$

Où : \vec{r}_{ij} est le vecteur unité dirigé de i vers j

q est la charge électrique, elle caractérise l'état électrique de la particule, indépendamment de sa position.

Le champ électrique traduit l'effet d'attraction ou de répulsion exercé par une charge électrique sur une autre. Il est présent dès qu'il existe des charges électriques (électrons, ions...) et est d'autant plus intense que ces charges sont nombreuses. Les échanges électriques sont omniprésents dans la nature. Un champ électrique est produit par les charges électriques dans la haute atmosphère. Généralement, il est de faible niveau au sol, mais s'intensifie à l'approche de l'orage. La foudre est une énorme décharge électrique.

1.2.4. Phénomène de charge

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 [2,3].

Il y a de nombreux modes d'électrisation possibles :

- 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 ballo-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 du textile, la plus importante source de charges électrostatiques reste le phénomène de charge triboélectrique.

L'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. 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 [2,3]. Une fois le matériau chargé, le risque électrostatique est présent. Ce type de charge s'applique par exemple à des personnes en mouvement : les semelles des chaussures se chargent et les contre-charges sont sur le sol. La vidange d'une poudre d'un sac s'accompagne toujours de la formation d'une telle charge : les phénomènes de frottement et de séparation de la poudre de la surface du sac mènent à une charge du sac et de la poudre. Lors d'une charge électrostatique par tribocharging, on observe ainsi toujours la charge de deux entités et non celle d'une seule.



Figure I.2 : triboélectrisation

L'influence ou induction

Les matériaux se divisent en deux groupes de base: conducteurs et isolants. Les électrons d'un conducteur peuvent circuler librement. Un conducteur isolé peut en principe prendre une charge statique. Cette charge peut être prise simplement en reliant le conducteur à la terre [3].

Un matériau non conducteur peut garder une charge statique pendant un certain temps, même avec des polarités opposées à plusieurs endroits. Les électrons ne peuvent pas circuler librement. Cela explique pourquoi, dans certaines zones, des matériaux sont attirés, alors qu'ils peuvent être repoussés dans d'autres. Il ne sert à rien de relier à la terre, car le matériau possède des propriétés isolantes. La seule solution possible est l'ionisation active

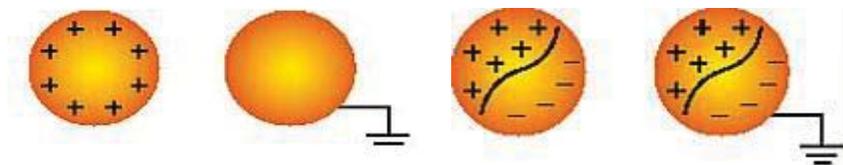


Figure I.3 : phénomène d'influence

Lorsqu'on approche d'un corps A électriquement neutre un corps B électrisé il se produit sur le corps A une électrisation telle que des charges de signes opposés s'accumulent en regard du corps B. Comme le corps A ne reçoit ni ne cède aucune charge, des charges de signes opposés se répartissent à la surface du corps A avec une prédilection pour les surfaces courbes ou pointues des extrémités [3].

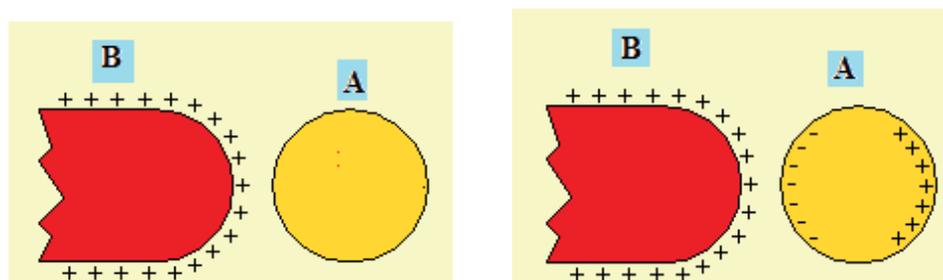


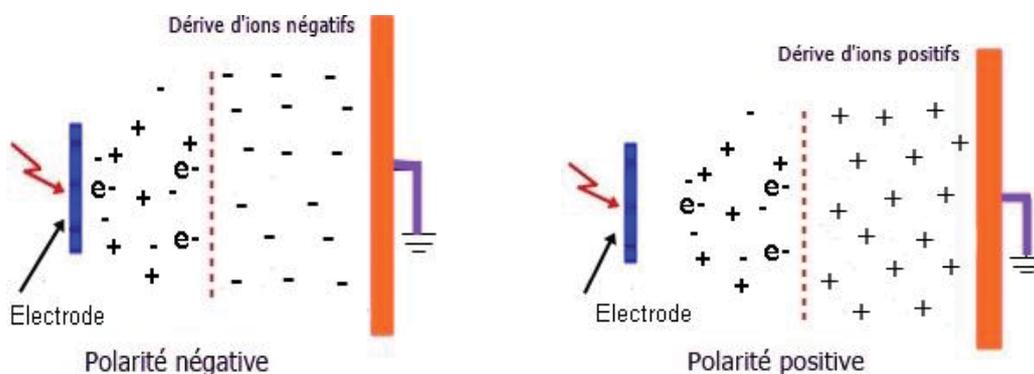
Figure I.4 : Electrification par influence

1.2.5. Décharge électrique :

Le comportement d'une décharge dépend de plusieurs paramètres électriques, géométriques et de paramètres physiques du gaz. Une température plus élevée diminue la rigidité diélectrique de l'air, ce qui favorise la décharge couronne. L'humidité a une influence très importante sur la quantité des espèces d'ions produits. Les processus microscopiques présents dans la décharge couronne sont variés et très complexes. L'application d'un champ électrique suffisamment intense conduit à l'ionisation du gaz. Cette dernière se fait par le transfert de l'énergie cinétique des électrons aux molécules neutres du gaz. L'existence d'une décharge électrique dépend de la possibilité de créer des particules chargées à partir des atomes ou molécules neutres constituant ces gaz [10].

Un électron placé dans un champ électrique uniforme (le champ électrique est donné par : $E = V/d$, où V est la différence de potentiel appliquée et d la distance entre les deux électrodes) est accéléré et peut ioniser des atomes ou des molécules. L'ionisation d'une espèce conduit donc à la formation d'une particule chargée et à la libération d'un électron supplémentaire, qui à son tour va être accéléré et acquérir une énergie suffisante pour ioniser une seconde particule. Ce mécanisme d'ionisation successive est connu sous le nom « d'avalanche électronique » ou « décharge de Townsend » [11].

Selon le type de polarité de l'électrode couronne les charges créées par collisions dérivent vers l'électrode collectrice sous l'effet du faible champ en constituant ainsi un dépôt de charge. La figure I.18 montre une architecture d'une décharge couronne fil-plan. Sous l'influence du champ électrique appliqué, toutes les particules ainsi créées vont se déplacer dans l'espace inter-électrodes et générer un courant électrique, le courant de décharge.



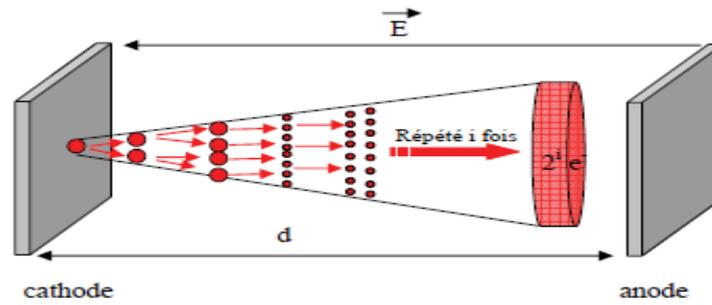


Figure I.5 : génération décharges par géométrie plan/plan

1.3. Nuisances et dangers de l'électricité statique :

Les charges électrostatiques générées sur les surfaces des matériaux polymères ont des effets négatifs. Les charges électrostatiques cumulées sur la surface des isolants peuvent engendrer de graves accidents dans les installations industrielles et entraîner des dégâts économiques importants et des pertes humaines. Les risques d'incendie et d'explosion liés à la charge statique sont associés à de nombreuses activités de production, de stockage et de transport dans les industries de transformation et de fabrication, cette charge peut entraîner des dommages graves, liés à la sécurité des personnes et du matériel de production très coûteux [4].



Figure I.6 : Electrification

En pratique, la décharge en question correspond à un choc de 20 à 30 kilovolts. Elle se produit ensuite lorsque l'individu touche un autre élément conducteur, qui peut être une poignée de porte, un vêtement, une personne que l'on veut saluer. De manière générale, il est bon de savoir que tous les individus sont plus sensibles à l'électricité statique en hiver qu'en été. Cela s'explique par le fait qu'avec le froid, l'air devient plus sec et plus isolant, ce qui oblige les électrons à s'accumuler davantage pour franchir la barrière isolante. Résultat, nous sommes davantage confrontés à des surcharges et décharges électriques. Et qui dit déséquilibre dit électricité statique.

Un choc électrique est l'effet physiopathologique résultant du passage direct ou indirect d'un courant électrique externe dans le corps. Il concerne les contacts directs et indirects, ainsi que les contacts unipolaires et bipolaires. Par définition, les personnes — en vie ou décédées — ayant subi un choc électrique ont été victimes d'une électrisation; le terme électrocution doit être réservé aux accidents mortels. Les coups de foudre sont des chocs électriques mortels qui sont provoqués par la foudre.



Figure I.7 : Danger d'électrisation

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 [5].



Figure I.8 : Manœuvre dangereuse

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.

Médicalement, ce qui est important pour le bilan pronostique et thérapeutique, c'est de connaître le trajet susceptible d'avoir été emprunté par le courant électrique. A titre d'exemple, un contact bipolaire chez un enfant portant à la bouche une prise mobile de prolongateur n'aura pas de conséquence mortelle si l'enfant est par ailleurs bien isolé par rapport à la terre, mais se soldera par des brûlures très graves de tous les tissus buccaux.

1.3.1. Nuisances dans les procédés de fabrication :

Les effets négatifs de l'accumulation d'énergie statique vont de la sensation désagréable que l'on ressent lorsqu'on touche un objet chargé (une poignée de porte, par exemple) aux lésions très graves et même aux accidents mortels qui peuvent être provoqués à la suite d'une explosion induite par l'électricité statique [6]. Dans les procédés de fabrication, on peut recenser plusieurs cas de risques électrostatiques :

- Transformation : L'accumulation de charge statique provoque l'attraction de poussière, de saleté sur le substrat. Le matériel est rejeté.
- Emballage: L'accumulation d'électricité statique attire les contaminants et les étiquettes sont mal posées. La production diminue.
- Matières plastiques: En cours de traitement les pièces moulées par injection attirent les contaminants et provoquent des chocs au personnel en raison de charges statiques. Baisse d'efficacité.
- Textiles: Les charges statiques provoquent des distorsions et des cassures de fil dans la canne et l'ourdissoir. Temps d'arrêt machine.
- Les non-tissés: Les systèmes de collecte de finition sont obstrués suite à l'accumulation de particules par charge statique sur les convoyeurs pneumatiques. Augmentation de l'entretien.
- Impression machines feuille à feuille : L'alimentation et la réception sont perturbées en raison de l'électricité statique. Retard de livraison.
- Arts graphiques: L'accumulation de charge statique lors du traitement des films est coûteuse car il faut retoucher ou refaire la production. Clients mécontents.

- Fabrication de dispositifs médicaux: Les charges statiques attirent les contaminants sur les pièces en plastique avant de les emballer. Baisse de la qualité.
- Electronique: La destruction par décharge électrostatique (ESD) provoque des dommages latents à l'assemblage des composants électroniques. Composant détruit.

1.4. Problématique:

Les occasions sont nombreuses pour que l'électricité statique soit problématique. Par exemple, le remplissage et brassage de liquides inflammables dans des cuves, l'introduction ou le retrait de matériaux conducteurs alors que la charge réside encore en surface, la ventilation de réservoirs, le pompage, le nettoyage à jet d'eau, le nettoyage à la vapeur, la pulvérisation de liquides même conducteurs, le transfert de poussières inflammables, etc. De plus, les charges statiques se développent dans pratiquement tout les secteurs allant de la sidérurgie, aérospatial, les entreprises pétrolières, pharmaceutiques, les centrales nucléaires etc...

Le risque peut être d'un simple accident a une catastrophe naturelle, économique ou même humaine.

Dans notre travail, nous allons essayer de développer ce phénomène encore tabou et méconnaissable dans nos entreprises algérienne, nous allons étudier les risques dû a ce phénomène, la prévention et la protection et enfin, nous allons procéder a un essai expérimentale pour éliminer les charges statiques.

1.5. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur le phénomène électrostatique, son importance et ses conséquences et son impact que ce soit sur notre vie quotidienne ou sur l'impact économique et humain dans les entreprises. Une analyse bibliographique nous a permis de constater l'importance de ce problème délicat et compliqué.

Chapitre II :
Effet des charges
statiques

II.1.Introduction :

Les décharges électrostatiques sont très fréquentes aussi bien dans la vie de tous les jours qu'en milieu industriel. Leur fréquence est telle qu'elles sont à l'origine de très nombreux incidents ou accidents industriels. 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...).

II.2.Risques des charges statiques :

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 [5,6].

D'une manière générale, trois étapes expliquent le phénomène d'électrostatique:

- Génération
- Accumulation
- Dissipation/Décharge

C'est lors du transport de matières isolantes pendant les phases de production industrielle que des problèmes d'électricité statique peuvent survenir. En effet de nombreux matériaux non-conducteurs tel que : les matières plastiques, le caoutchouc, le papier, les hydrocarbures... auront tendance à se charger en électricité statique par frottement lors de ces manipulations qui se font souvent à des vitesses élevées (transport sur tapis pneumatiques...). Dans des conditions d'atmosphères très sèches, un grand nombre d'autres matières peuvent être concernées par ces problèmes alors qu'elles ne le sont pas en condition normale. Contrairement à l'été, où l'air humide facilite le transfert d'électrons même en petite quantité, «l'air sec de l'hiver est un meilleur isolant, c'est-à-dire qu'il isole davantage les électrons, qui doivent s'accumuler en plus grande quantité pour franchir la barrière isolante. C'est ce qui explique pourquoi les chocs en hiver sont plus forts.»

Le tableau suivant montre les valeurs de charges générées par des actions simples :

L'humidité de l'air ambiant apporte une grande importance dans l'accentuation ou la diminution des transferts de charge

Tableau II.1 : Valeur de charges générée par action

Activité	10 à 20 % Humidité Relative	65 à 90% Humidité Relative
Marcher sur une moquette	35000 Volts	1500 Volts
Marcher sur un sol vinyl	12000 Volts	250 Volts
Ouverture d'un sac PE classique	20000 Volts	1200 Volts

Si 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).

Le tableau suivant nous permet de déterminer l'effet de l'intensité du courant sur l'être humain [7] :

Tableau II.2 : Effet de l'intensité sur l'être humain

Courant	Effet
0,05mA	Fourmillements perceptibles à la langue
1mA	Fourmillements perceptibles au contact des doigts
1 à 15mA	Fourmillements progressifs et crispation musculaire
15 à 20mA	Crispation musculaire empêchant la victime de se libérer –limite d'auto-libération
20 à 50mA	Accentuation de la crispation musculaire, difficulté à respirer, puis arrêt de la respiration. Mort par asphyxie après 3-4 minutes
50mA et plus	Fibrillation ventriculaire dans les secondes (voir même fractions de secondes). Mort par fibrillation ventriculaire après quelques secondes Mort par asphyxie après 3-4 minutes

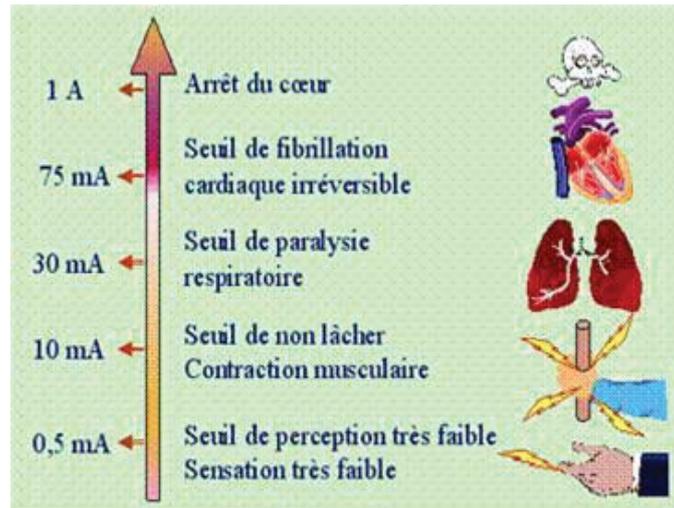


Figure II.1 : Seuil du courant leur effet

Les contacts directs ou indirects provoquent des électrisations ou électrocutions. Sur les muscles du corps humain les courants électriques peuvent provoquer une tétanisation (muscles moteurs et de la cage thoracique) ou une fibrillation ventriculaire pouvant provoquer l'arrêt du cœur [8].

Contact direct : est un contact avec une pièce nue sous tension. C'est par exemple le contact avec une partie conductrice d'une borne de raccordement, avec l'âme d'un conducteur dénudé...

Contact indirect : est un contact avec une pièce conductrice mise accidentellement sous tension. C'est par exemple le contact avec une armoire métallique non reliée à la terre et dont l'équipement électrique qu'elle contient présente un défaut d'isolement.

Les contacts directs ou indirects provoquent des électrisations ou électrocutions. Sur les muscles du corps humain les courants électriques peuvent provoquer une tétanisation (muscles moteurs et de la cage thoracique) ou une fibrillation ventriculaire pouvant provoquer l'arrêt du cœur.

L'accumulation de charges provoque des décharges électrostatiques. Une décharge électrostatique dans le domaine du travail est similaire à celle d'un éclair à une échelle microscopique. La très grande majorité des décharges électrostatiques ne sont pas visibles à l'œil nu. Un "coup de jus" ressenti (avec la portière d'une voiture par exemple) est une décharge électrostatique depuis un objet chargé vers un qui ne l'est pas. Cette décharge se sent à partir d'approximativement 3000 V [8].



Figure II.2 : Décharge électrique

La décharge provoque non seulement un passage d'un courant électrique mais aussi il apparaît un arc électrique pouvant avoir des conséquences importantes.

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**.

II.3. Nuisances des charges statiques :

II.3.1. Nuisances sur les équipements :

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. Ces dommages, perceptibles au microscope électronique peuvent conduire à deux types de défauts [9]:

- Panne irrémédiable : Un composant détruit empêche complètement le fonctionnement du circuit. La panne est évidente, le module ne fonctionne plus.
- Panne latente – Un composant fragilisé donne des résultats non fiables.

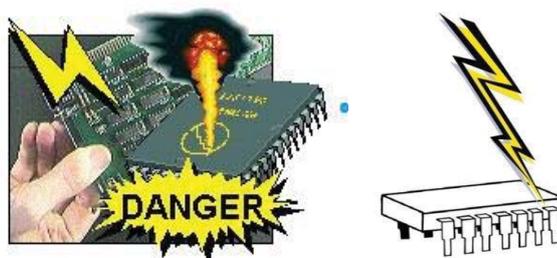


Figure II.3 : Décharge sur les équipements électriques

Il peut parfaitement passer des tests de contrôle et produire des pannes aléatoires. Ces origines de pannes sont souvent difficiles à identifier, mais les moyens pour s'en prémunir sont simples. Le coût des dommages causés par l'ESD dans l'industrie électronique est estimé à 5 milliards de dollars par an.

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. Cet aspect qui n'est certes qu'une question de confort reste très important pour l'image de marque du constructeur. Le monde industriel regorge de quantité d'autres exemples de ce genre, plus ou moins complexes, mais tous très gênants et dont les solutions adéquates restent à trouver [8, 9,10].

Dans le domaine de la haute tension les accidents dues aux charges statiques sont très fréquents et dangereux, ils peuvent causer des incendies détruisant tout l'équipement (disjoncteur, câbles, etc...).



Figure II.4 : Décharge dans des stations de connexion

Les conséquences les plus graves de l'électricité statique sont, sans aucun doute, les incendies et explosions qu'elle peut engendrer. En effet, les atmosphères explosibles (mélanges air/vapeurs d'hydrocarbure par exemple) et les suspensions de poussières de matières pulvérulentes peuvent exploser à cause de décharges électriques d'énergie très faible : de l'ordre de 10^{-4} joules pour un mélange vapeurs/air et 10^{-6} joules pour un mélange vapeurs/oxygène. Pour évaluer l'énergie dégagée E par une étincelle et de manière approximative, dans quelques cas simples on peut procéder comme suit :

$E = 0,5 \cdot QU$ avec $Q = CU$ (équivalent à la charge d'un condensateur)

Où U représente le potentiel du corps chargé,

Soit : $E = 0,5 \cdot CU^2$

La charge Q est fonction des surfaces en contact

vieillessement d'un isolant menant au claquage :

L'accumulation de charges statiques 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 [8,9].

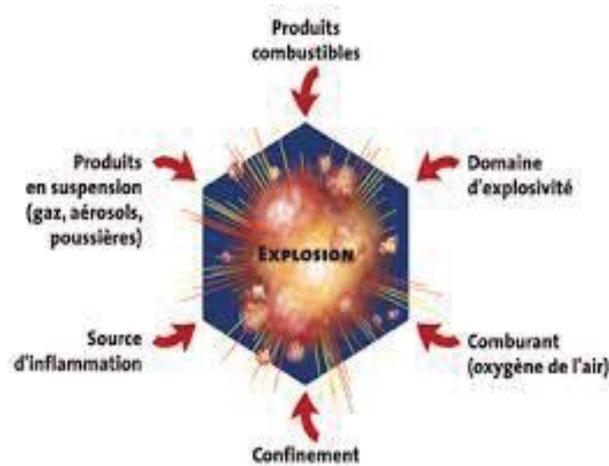


Figure II.5 : Sources d'explosion



Figure II.6 : Explosion dans un gaz inflammable

- 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.

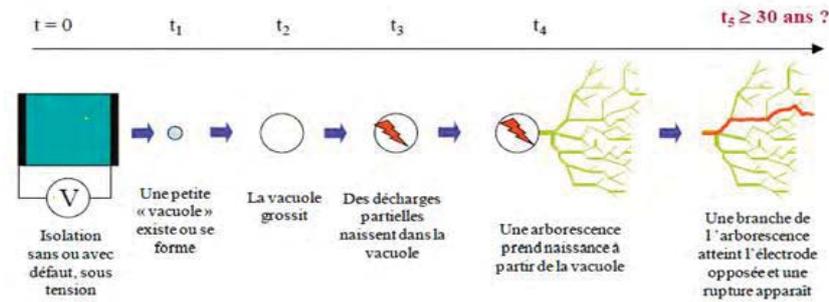


Figure II.7 : Evolution de la décharge électrique

- 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. Cet aspect qui n'est certes qu'une question de confort reste très important pour l'image de marque du constructeur [10].

Le monde industriel regorge de quantité d'autres exemples de ce genre, plus ou moins complexes, mais tous très gênants et dont les solutions adéquates restent à trouver.

Incendie :

30 % des incendies seraient d'origine électrique. Dans les **zones à risque d'explosion**, les installations électriques, aussi bien de puissance que de commande, constituent une source potentielle d'inflammation pour l'atmosphère explosible. Afin de réduire ce risque, ces installations sont réduites au strict minimum. De plus le matériel électrique utilisé dans ces zones respecte des conditions de construction, montage et fonctionnement définies dans des normes [7].



Figure II.8 : Explosion dans une station de service

II.3.2. Nuisances sur l'être humain :

Une électrisation peut être plus ou moins grave, tout dépend de :

La fréquence du courant,

L'intensité du courant (danger à partir de 5 mA),

La durée du passage du courant,

La surface de la zone de contact,

La trajectoire du courant,

L'état de la peau (sèche, humide, mouillée),

La nature du sol.

Le risque électrique résulte d'une possibilité de contact direct ou indirect d'un ouvrier avec une pièce sous tension, ou encore du seul fait de sa présence à proximité d'un équipement électrique, et donc sans contact .ce risque doit être considéré comme omniprésent dans notre société et pour tous les corps de métier .On peut classer les expositions en deux catégories principales[6] :

- L'exposition délibérée:

Elle concerne les professionnels intervenants sur ou à proximité des équipements et installations électriques.

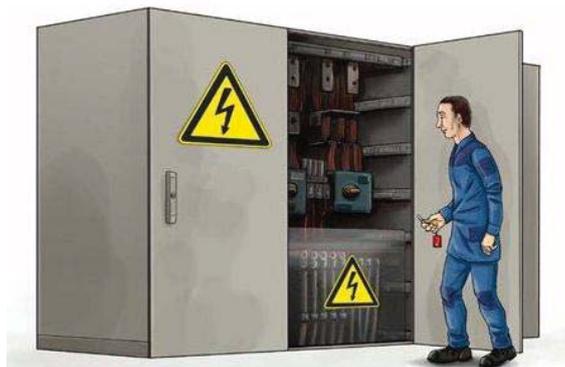


Figure II.9 : Explosion au danger électrique

- L'exposition ordinaire

Sont concernés l'ensemble des agents travaillant dans des locaux alimentés en électricité et donc simples utilisateurs.

L'électrisation, encore appelée électrotraumatisme, est un accident lié au passage d'un courant électrique à travers l'organisme. En cheminant dans le corps, l'électricité peut endommager tous les organes qu'elle rencontre, causant différentes blessures et lésions entrant dans deux catégories :

- Excito-moteurs (stimulation des neurones, muscles, etc.)
- Thermiques, soit des brûlures électriques, qui peuvent être superficielles et visibles, ou internes et plus importantes sur le trajet du courant électrique, alors même que les lésions sont en apparence minimales.

Des lésions profondes peuvent être suspectées lors de la survenue des symptômes suivants:

- Engourdissement avec douleurs musculaires
- Spasmes musculaires
- Maux de tête
- Troubles de vigilance et de la conscience, parfois jusqu'à la perte de connaissance
- Mouvements anormaux ressemblant à des convulsions
- Difficultés à respirer
- Battements de cœur irréguliers, voire arrêt cardiaque.

Il vous est ici proposé un classement des effets sous trois aspects:

- Les effets immédiats, soit ceux constatés à la prise en charge de l'accident.
- Les effets secondaires, conséquences de l'électrisation, prenant la forme de troubles, déficits ou séquelles, qui ne pourront être diagnostiqués que plus tardivement.
- Les lésions associées, sans lien avec le phénomène électrique, mais directement liées à l'accident

II.3.2.1. Les effets immédiats

II.3.2.1.1 Les brûlures

Les brûlures électriques se voient aux points d'entrée et de sortie du courant. Elles apparaissent sèches, noirâtres et de petites dimensions.

Elles sont le plus souvent indolores ce qui signe leur profondeur (assimilable à une brûlure de 3° degré).



Figure II.10 : Brûlure dû a une décharge

Des destructions cellulaires invisibles existent en fait sur tout le trajet parcouru par le courant (réseau vasculo-nerveux, muscles,...) d'où la notion de gravité potentielle des électrisés, quel que soit leur état initial, car ces lésions s'aggravent dans les heures ou les jours qui suivent.

II.3.2.1.2. Les atteintes neurologiques

La perte de connaissance, lorsqu'elle survient, peut être la conséquence de l'inhibition (mise au repos) du système nerveux central ou d'un manque d'oxygène (hypoxie) liée à une atteinte des autres fonctions vitales (ventilatoire, circulatoire) et expose aux dangers classiques du malade inconscient:

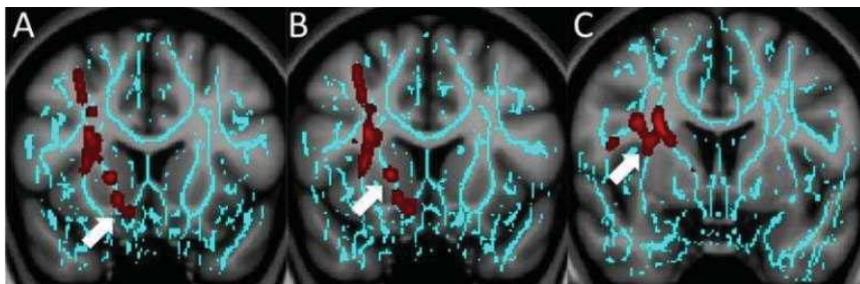


Figure II.11 : Effet sur le cerveau

- Détresse respiratoire par obstruction des voies aériennes (ex: chute de la langue dans le fond de la gorge, inhalation du vomi).
- convulsions

II.3.2.1.3. Les atteintes ventilatoires

La tétanisation musculaire peut entraîner un arrêt respiratoire qui cessera après le dégagement. La persistance des troubles, malgré la suppression de la cause, fait craindre un arrêt cardiaque.

II.3.2.1.4. Les troubles circulatoires

Plus de 90% des électrisés n'ont reçu qu'une simple secousse et n'alertent pas les secours. Dans ce cas, on peut noter chez eux une accélération de la fréquence cardiaque, essentiellement liée au stress.

A des seuils d'intensité plus dangereux, peuvent être constatés des troubles très variables du rythme cardiaque, allant d'un pouls irrégulier à un risque d'arrêt cardiaque.

II.3.2.2. Les effets secondaires

II.3.2.2.1. Les troubles cardiaques

Des troubles du rythme peuvent persister après l'accident voire apparaître plus tardivement. De rares cas d'infarctus du myocarde ont été décrits.

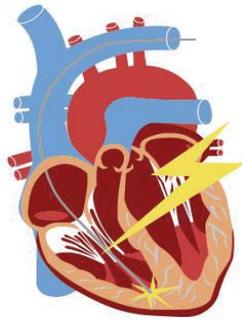


Figure II.12 : Effet sur le cœur

II.3.2.2.2. Neurologiques

Des déficits neurologiques comme la paralysie d'un côté du corps (hémiparésie), des syndromes épileptiques, des troubles sensoriels, visuels, et auditifs et des manifestations psychiatriques peuvent aussi compliquer la guérison de la personne électrisée.

II.3.2.2.3. Traumatiques

Les brûlures et les lésions associées peuvent laisser des séquelles fonctionnelles graves avec par exemple des complications de cicatrisation musculaire et tendineuse.



Figure II.13 : Effet sur la peau

II.4. Conclusion :

L'électricité statique fait partie de notre vie quotidienne. Elle 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...). Les charges sont cumulatives dans le temps et latentes dans la dégradation et peuvent entraîner à des situations de lourdes conséquences économiques. Elles peuvent également avoir des effets physiologiques sur l'homme et entraîner des pertes de vies humaines.

Chapitre III :
Prévention et protection
contre les charges
statiques

III.1. Introduction :

Dans les différents processus de production, la charge statique représente un important facteur de perturbations. En effet, la production, selon les contextes, peut impliquer plusieurs matériaux en contact étroits ou en contact avec des machines de production. Par ailleurs, la poussière environnante est attirée par la charge statique. C'est là qu'existe un risque non négligeable d'explosion ou d'incendie, qui peuvent être provoqués par une simple étincelle produite par une décharge statique.

Ces différents accidents entraînent des décès et des blessures graves, notamment des brûlures. Les dégâts matériels sont également souvent importants. Maîtriser l'électricité statique est devenu un enjeu important pour l'optimisation d'un processus de fabrication, et la limitation des risques. Il existe des solutions qui permettent aussi bien une neutralisation du statique, qu'une utilisation de la statique pour faciliter un processus de fabrication [9].

III.2. Prévention et protection contre les charges statiques :

Face aux nombreux problèmes dus à l'électricité statique, il a été nécessaire de trouver des solutions pour lutter contre cette nuisance. Principalement empiriques ces solutions s'attachent à agir à des niveaux et des paramètres différents du problème électrostatique : empêcher la génération de charge, faciliter l'évacuation des charges accumulées, éviter les décharges électrostatiques... Parallèlement, un besoin en normalisation s'est développé pour proposer des solutions communes de caractérisation des phénomènes électrostatiques qui soient les plus reproductibles possibles.

Pour éviter l'accumulation de charge sur des isolants ou des conducteurs isolés, il existe 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). Pour ce qui est des parties métalliques, il convient de s'arranger pour établir l'écoulement des charges électriques statiques à la terre, ceci suppose qu'elles soient

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

connectées entre elles et à la terre de manière équipotentielle pour éviter la présence de conducteurs isolés qui peuvent être dangereux. Il existe également des éliminateurs d'électricité statique, basés sur le principe de l'ionisation de l'air ambiant. En effet, en ionisant l'air à proximité de matériaux chargés, les charges à la surface de ce matériau vont se combiner avec les charges de signe opposé de l'air ionisé de sorte que la surface se trouve alors partiellement ou totalement neutralisée [8,9]. Pour réaliser cette ionisation on utilise deux méthodes différentes : l'ionisation par effet couronne (éliminateur à induction ou à haute tension) et l'ionisation par rayonnement (éliminateur radioactif)

III.2.1. Prévention de la répartition des charges :

Pour améliorer les processus de fabrications parasités par des problèmes d'électricité statique, il faut pouvoir les mesurer. [Les appareils de mesure de champs électrostatiques](#) le permettent : ces 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...) pour comprendre leur comportement électrostatique [7,8,9]. On peut mesurer manuellement avec un appareil de mesure de champ statique sans contact:

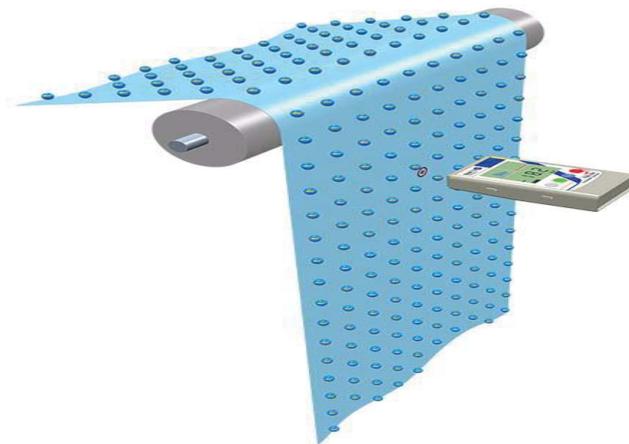


Figure III.1.a : Mesure de charges statiques manuellement

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

Ou automatiquement avec un capteur :

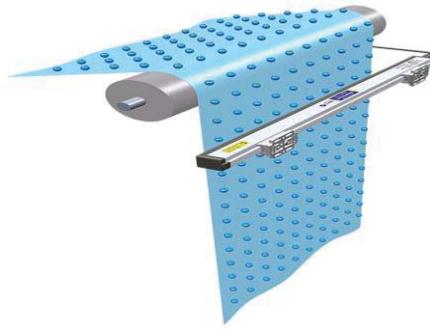


Figure III.1.b : Mesure de charges statiques avec un capteur

La meilleure stratégie de départ visant à éviter l'accumulation de charges électrostatiques consiste à éviter de produire de telles charges. Si c'est impossible, il faut essayer de relier les charges à la terre. Enfin, si des charges sont inévitables, les objets sensibles devraient être protégés de leurs effets. Il est impossible d'éviter totalement leur formation.

III.2.1.1. Réduction de la création de charges électrostatiques:

Pour réduire la quantité de charges générées par des surfaces entrant en contact, il existe 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. Ou bien, il faut :

- éviter de mettre en contact des matériaux qui ont des affinités électroniques très différentes (c'est-à-dire s'ils sont très éloignés l'un de l'autre dans les listes triboélectriques). Par exemple, il faut éviter tout contact entre le verre et le Teflon (PTFE), ou entre le PVC et le polyamide (Nylon);
- réduire le débit entre les matériaux, ce qui diminue la vitesse de cisaillement entre des matériaux solides. On peut, par exemple, réduire la vitesse d'extrusion de films plastiques ou la vitesse de déplacement de matériaux broyés sur un convoyeur, ou encore le débit de liquides dans une conduite.

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 [8].

Ces mesures dépendent de :

- la nature de l'activité de l'entreprise,
- les matières premières utilisées,

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

- la conception et l'implantation du matériel de fabrication et de manutention,
- l'atmosphère environnante...

La neutralisation de la charge statique de matériaux non conducteurs s'obtient à l'aide de l'ionisation active :

La barre antistatique : Cet équipement 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. Tous les matériaux chargés se trouvant à proximité attirent des ions opposés, jusqu'à atteindre la neutralisation électrique. Le risque d'attraction de poussières, d'incendie ou d'exposition du personnel à des électrochocs est ainsi supprimé.



Figure III.2 : Ionisation de l'air une barre antistatique

La soufflerie ionisante : Les produits en matière plastique, par suite d'une charge statique, attirent des poussières. Ces particules adhèrent à la surface et forment un voile gris très difficile à enlever. Dans le cas de produits à formes variées, la neutralisation doit se faire à distance. Dans ce contexte, les souffleries ionisantes sont préconisées. Les pointes ionisantes ionisent l'air, les ions sont projetés sur le produit à charge statique de façon, et ainsi la charge statique est neutralisée [5].



Figure III.3 : Ionisation de l'air un ventilateur

Le pistolet à air ionisé : Les pistolets ionisants neutralisent les charges électrostatiques de divers matériaux et nettoient la surface à air comprimé ionisé. La neutralisation des charges

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

statiques simplifie le nettoyage de la surface et supprime l'attraction de poussières par le matériau une fois nettoyé. Les pistolets sont branchés sur une alimentation fournissant la haute tension. En utilisant l'air comprimé qu'ils ionisent, les pistolets à air ionisé permettent à la fois la neutralisation des charges électrostatiques et le dépoussiérage des surfaces [5].



Figure III.4 : ionisation de l'air par un pistolet

Le bec à air ionisé : Les bacs à air ionisé diffusent un flux d'air ionisé puissant destiné à nettoyer et à neutraliser la surface en même temps. Les bacs sont alimentés en air comprimé et génèrent un jet d'air fortement concentré pour des applications spécifiques. Le bec à air ionisé s'adapte à de nombreuses configurations.

Le contrôle et la vérification périodique est un moyen de prévention important, à ce titre, il y a lieu de vérifier

- la pérennité des liaisons équipotentielles et la mise à la terre
- s'il y a des modifications des installations qui pourraient augmenter le risque.

La formation du personnel est un point essentiel de la maîtrise du risque dû à l'électricité statique. Elle peut être réalisée à plusieurs niveaux :

- Sensibilisation au risque dû à l'électricité statique
- Formation adaptée à une entreprise particulière
- Formation approfondie

III.2.2. Protection contre les nuisances électrostatiques:

III.2.2.1. 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. En

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

ce qui concerne les produits (poudres par exemple), il n'est pas évident de pouvoir efficacement les relier à la terre. Cependant, les placer dans des fûts ou des conteneurs métalliques reliés à la terre peut être suffisant à condition qu'ils soient stockés pendant une durée supérieure à celle nécessaire pour la dissipation de toutes les charges. Ce temps peut être connu par la mesure du temps de relaxation des charges. Ce temps nécessaire devrait être court si le produit est reconnu comme conducteur ou dissipateur.

Quel que soit le moyen de mise à la terre, celui-ci doit être solide et fiable. Ainsi les câbles de mise à la terre des éléments mobiles doivent être conçus pour éviter de perdre de façon intempestive la connexion et ils doivent permettre de pincer suffisamment efficacement des surfaces métalliques peintes pour assurer une réelle mise à la terre [4].



Figure III.5 : Protection par une mise a la terre

III.2.2.2. Protection du personnel

Le personnel qui pense avoir accumulé de l'électricité statique (par exemple, en descendant d'un véhicule par temps sec ou en marchant avec un certain type de chaussures) peut prendre certaines mesures de protection pour, par exemple [4]:

- réduire la densité du courant au niveau de la peau, en touchant un conducteur relié à la terre avec un objet métallique (clé, outil, etc.);
- réduire la valeur de crête du courant en le déchargeant sur un objet dissipatif, s'il en existe un à proximité (le dessus d'une table ou un équipement spécial comme un bracelet de protection avec une résistance en série).

III.2.2.3. Equipement de protection

Les équipements de protection individuelle (EPI) font partie intégrante de la sécurité électrique. Ils sont définis par le code du travail comme des « *dispositifs ou moyens portés*

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

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 :

- d'un casque isolant et antichoc,



Figure III.6.a : Casque isolant

- d'une paire de gants isolantes,



Figure III.6.b : Gants isolantes

- d'un écran facial anti-UV



Figure III.6.c : Ecran facial anti UV

- des chaussures ou bottes isolantes de sécurité,



Figure III.6.d : Bottes isolantes

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



Figure III.6.e : Combinaison de travail

III.3.Partie expérimentale :

La décharge couronne présente des aspects utiles recherchés pour ses nombreuses applications : Dépôt de charge en reprographie, traitement de surfaces métalliques et isolantes, textiles, applications biologiques, séparateur électrostatique, dépoussiéreur électrique, neutralisation, production d'ozone, ...etc appelée l'ionisation par effet couronne (éliminateur à induction ou à haute tension) et l'ionisation par rayonnement (éliminateur radioactif)

Le rayonnement ultra-violet du soleil, les rayonnements radio-actifs de la Terre et de l'atmosphère ainsi que certaines décharges électriques (décharge couronne) provoquent l'arrachement d'électrons de molécules de gaz. Ces électrons vont alors se fixer sur d'autres atomes ou sur d'autres molécules ou sur des ions isolés sous forme de charges statiques. Les ions touchés par ces phénomènes deviennent électriquement neutres.

Dans notre travail expérimental, nous allons prendre un matériau isolant (il peut garder une charge sur sa surface) ou, nous allons déposer une charge sur sa surface à partir d'une

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

géométrie pointe/plan puis utiliser un balayage à partir d'une source alternatif et mesurer la neutralisation de la charge statique en fonction des cycles de balayages.

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

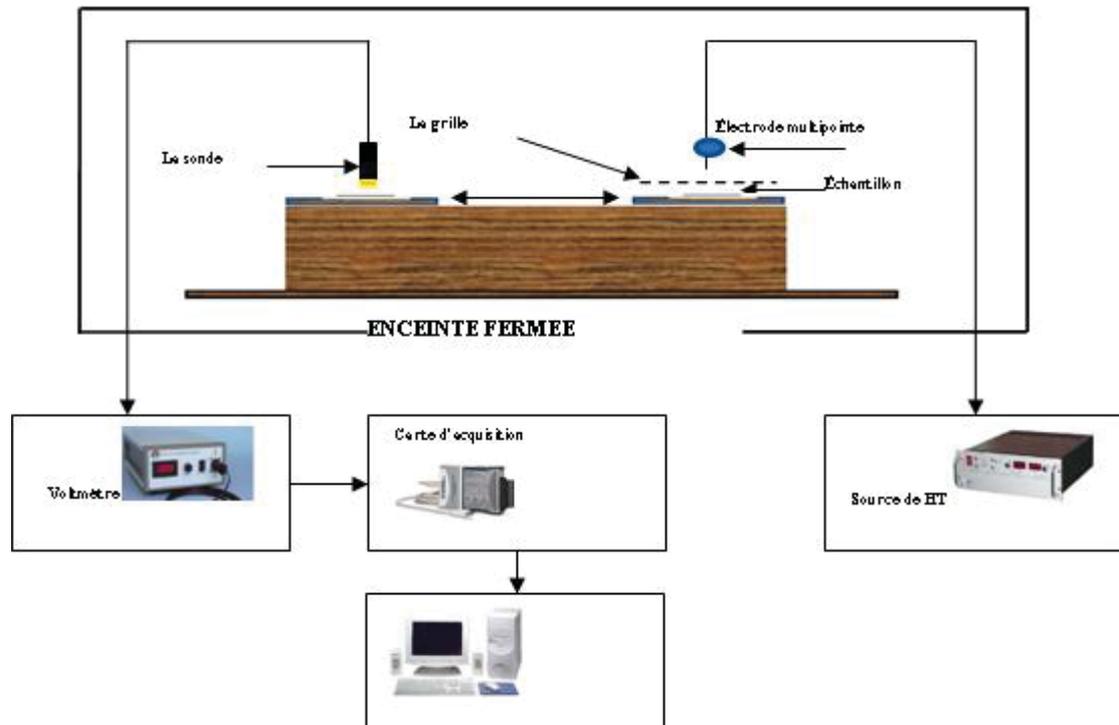


Figure III.7.a : Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est composé de deux parties ou deux procédés. La première partie constitue le procédé de chargement, il est composé d'un système fil/plan. Nous avons réalisé le chargement des films du Polyéthylène Téréphtalate par décharge couronne en utilisant un système fil/. Le fil est en Tungstène de rayon $50 \mu m$ alimentée avec une tension continue variable jusqu'à $10 kV$ (courant variable de $200 \mu A$ à $2 mA$)

La distance entre la pointe et l'échantillon d est choisie égale à $10 mm$ Nous avons limité la durée de chargement à $10 s$ pour éviter toute modification de surface.

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 est à mesure que les charges s'accumulent à la surface de l'échantillon, le potentiel de surface augmente. Une fois que l'opération de chargement est terminée, un système de déplacement permet de positionner l'échantillon sous la sonde de mesure du potentiel pour le relevé les déclinés de potentiel de surface



Figure III.7.b : Photo du dispositif expérimental

Comme matériau isolant, nous avons utilisé le polyéthylène téréphtalate PET qui est 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.

Le PET prend une place de plus en plus importante dans notre vie sous toutes ses formes, films, fibres, contenants. Sa consommation est en constante augmentation.

III.3.1.Types de décharge couronne :

Deux types de cette décharge sont à énumérés. En raison de signe de polarité appliquée au niveau de l'électrode active, on peut différencier deux modèles : « monopolaire et bipolaire ». Et si on dit bipolaire, c'est qu'on fait allusion à une décharge dite positive et négative sur une certaine fréquence ou période (alternatif). Si la polarité est positive, la décharge sera donc positive. Dans le cas inverse, elle sera négative.

Décharge couronne positive :

On a un système d'électrodes en géométrie fil-plan, On alimentant l'électrode active positivement, on osera donc la création d'une décharge continue positive. En sachant que le champ électrique est plus intense sur la périphérie de l'anode, des électrons seront produits par photo-ionisation et seront accélérés, attirés vers le fil, et autour de celui-ci, se développe alors une région de forte ionisation (zone en pointillé). Les ions positifs ainsi créés seront repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance du fil (inférieur au millimètre) au-delà de laquelle le champ électrique est trop faible ($< 30 \text{ kV/cm}$ dans l'air à pression atmosphérique) et ne permet plus la création d'ions positifs.

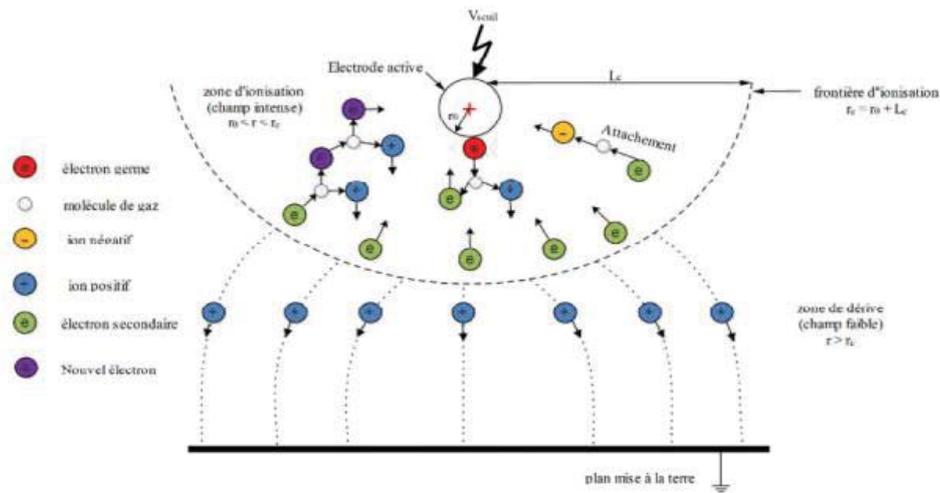


Figure III.7.c : Décharge couronne positive

Les ions positifs migrent donc vers la cathode (le plan).

Décharge couronne négative :

Dans le cas où le fil est porté à un potentiel négatif, il y a toujours création d'électrons par photo-ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour du fil. Les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode. Seuls les ions négatifs créés par attachement dans une zone où le champ est plus faible peuvent migrer vers le plan.

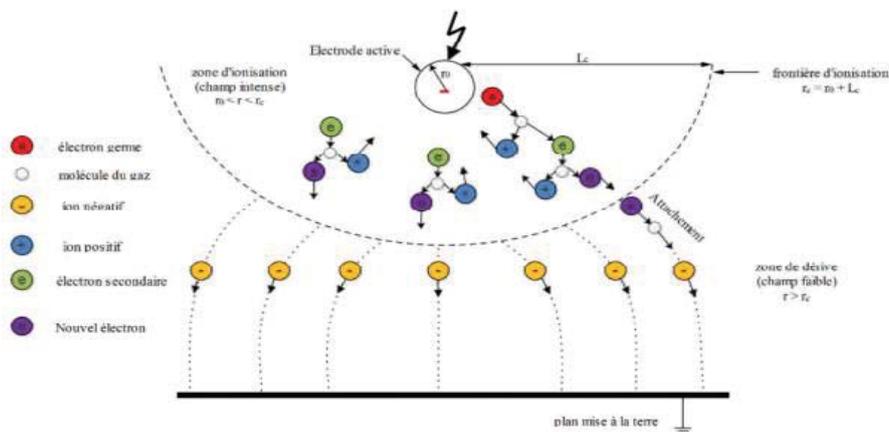


Figure III.7.d : Décharge couronne négative

III.3.2 Résultats des expériences :

III.3.2.1 Effet du potentiel initial:

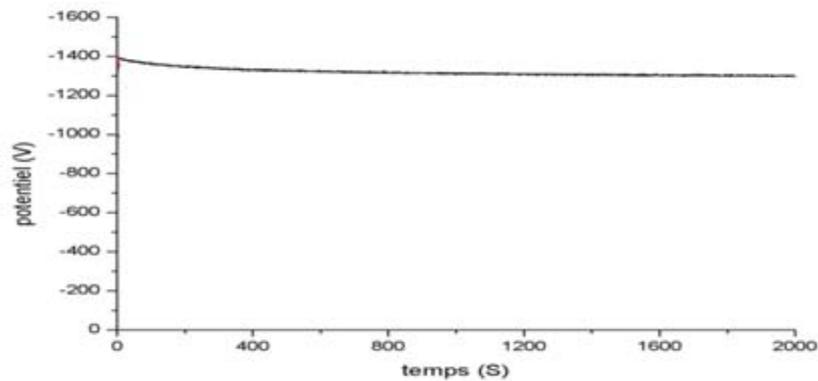


Figure III.8.a : Effet du potentiel sur le dépôt - 1400V

Pour un dépôt de charge de l'ordre de -1400 V, on remarque que le déclin de potentiel de surface reste modéré à tension de dépôt - 1200 V. Pour les temps long, on remarque que les charges sur la surface ne s'écoulent plus et restent piégées. Par conséquent la surface du matériau reste chargée et constitue un inconvénient et un danger d'électrocution ou des décharges peuvent causer d'énormes problèmes et un danger permanent.

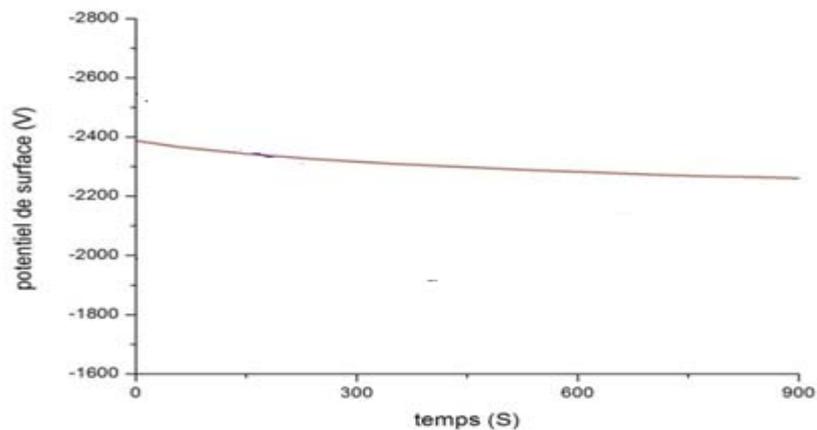


Figure III.8.b : Effet du potentiel sur le dépôt - 2400V

Pour un dépôt de charge de l'ordre de -2400 V, on remarque aussi que le déclin de potentiel de surface reste modéré à tension de dépôt - 2300 V. Pour les temps long, 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.

Chapitre III Prévention et protection contre les charges statiques

III.3.2.1. Neutralisation des charges par balayage alternatif:

Sur la figure suivante, on relève un dépôt de charge de l'ordre de -1400 V. C'est la charge statique déposée sur la surface du PET.



Figure III.9.a : Balayage sur le dépôt -1400V

Pour essayer de neutraliser cette charge statique négative, on applique un balayage au dessus de la surface de l'isolant un balayage (aller et retour) sous une tension alternative.

Après le premier balayage, on remarque que la charge statique a considérablement diminuée. Une charge statique de l'ordre -1000 V a été neutralisée. Après le deuxième balayage, il ne reste que -200 V. Malheureusement cette charge persiste sur la surface du matériau et serait probablement piégée dans les pièges profonds de la surface du PET.

D'une manière analogue, on prend un nouvel échantillon et on fait un dépôt de l'ordre de -2400 V figure. Dans cet essai la charge surfacique a persisté aux premiers balayages. Après avoir effectué plusieurs balayages, on remarque aussi qu'une grande partie de la charge statique est neutralisée, on enregistre une tension sur la surface du PET de l'ordre de -600V.

Cette méthode de d'ionisation de l'air environnant la charge statique est efficace. Les résultats montrent une neutralisation de l'ordre de 80%. Par conséquent, on remarque que les bouffées de porteurs de charges réalisées par la décharge alternative constituent un moyen non négligeable pour la neutralisation des charges statiques.



Figure III.9.b : Balayage pour le dépôt -2400V

III.3. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons réalisé des essais expérimentaux sur l'atténuation des charges statiques par un balayage d'une tension alternative au dessus de la surface de l'isolant. Les résultats sont intéressants du fait que 80% de la charge statique a été neutralisée.

Conclusion générale et perspective

Conclusion générale et perspective:

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. La prévention du risque électrique 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.

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.

Notre objectif dans ce travail n'est pas d'entreprendre une recherche fondamentale sur les phénomènes électrostatiques mis en jeu dans les entreprises mais plus modestement d'établir une analyse approfondie accompagnée de plusieurs expériences dans lesquels on s'efforcera d'identifier les phénomènes relatés dans l'analyse bibliographique attentive au sujet.

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.

Comme perspectives dans les travaux de recherches dans le domaine des charges statiques est de relier ces essais par rapport à des grandeurs physiques telles que l'humidité et la température.

Bibliographies

Bibliographies :

- [1] A.Lyes « prevention et protection contre le champ électromagnétique » Mémoire de Master. Electromécanique 2017 ;
- [2] L’Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ; Électricité statique, N. BergerM. DenozièreJ.-C. GiletD. GuionnetH. Romat : ED 874.
- [3] C. MENGUY Electricité statique. Principes. Problèmes. Applications. D 1 035, traité Génie électrique, Techniques de l’Ingénieur, 1993 .
- [4] Moore A. D. Electrostatics and its applications, John Wiley & Sons Inc., 1973.
- [5] STANDARD EN 1149-1 Protective clothing – Electrostatic properties – Part 1: Test methods for measurement of surface resistivity 1996.
- [6] 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.
- [7] DR ° 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.
- [8] R. CHALLANDE Mesure et élimination de l’électricité statique nuisible .Eyrolles, Gauthier-Villars, 1973.
- [9] Medard L. Les explosifs occasionnels, vol. 1, Propriétés, 1987.
- [10] K.Smilli, **L.Herous** “Effect of temperature on partial discharge in capacitor model” 5 th international advances in applied physics and materials science congress, april 16- 19 .2015 Turkey.
- [11] K.Smilli, **L.Herous** « Study and optimization of the partial discharges in capacitor model at different temperatures “Rev. Sci. Technol., Synthèse 33: 165 - 174 .2016.