



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
-----  
معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département : Sécurité Industrielle et Environnement**

## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière : Hygiène et Sécurité industriel**

**Spécialité : Sécurité Prévention/Intervention**

**Thème :**

# Etude de la Prévention et la Protection contre le Risque lié à l'électricité statique

Présenté et soutenu par :

**BOUDIAF Abdeslem** et **CHALAB Dahmane**

Devant le jury composé de :

| Nom et Prénom    | Grade      | Etablissement | Qualité      |
|------------------|------------|---------------|--------------|
| Dr. HABEL Nawel  | MCB        | IMSI          | Présidente   |
| Dr. LEBSIR Hayet | Professeur | IMSI          | Encadrante   |
| Dr. MECHKEN Amel | MCB        | IMSI          | Examinatrice |

Année : 2020-2021

# Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, de nous avoir donnés la force et la patience d'accomplir et d'achever ce modeste travail.

La rédaction de ce mémoire et sa soutenance marquent la fin d'un cursus plein de motivation et beaucoup de peines et d'efforts fournis et accomplis dans :

Le monde des études supérieures et de la recherche qui ne devrait pas en rester là, les relations humaines principalement pendant notre stage et enfin la satisfaction familiale.

Différentes personnes nous ont accompagnés tout au long de ce parcours et nous tenons ici à les en remercier vivement :

A notre encadrant Pr LEBSIR Hayet pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité. Nous lui exprimons toute la gratitude pour nous avoir guidés dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions également les membres du jury qui ont eu l'amabilité de lire et évaluer ce modeste travail.

Et enfin, nous remercions tous nos proches de nous avoir soutenus et encouragés durant notre cursus de formation universitaire et contribuer l'accomplissement de ce mémoire de fin d'étude.

# Dédicaces

Je dédie ce travail :

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

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

À ma mère, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, un amour éternel et ma considération pour les sacrifices qu'elle m'a consenti pour mon instruction et mon bien être.

A mon frère et mes sœurs. À tous mes amis aussi bien qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

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

BOUDIAF Abdeslem

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

Aux êtres qui me sont les plus chers ma mère et mon père.

Que Dieu leur préserve bonne santé et longue vie.

Qui ont tous fait pour m'encourager durant les années de mes études

A mes Grands Parents que Dieu les protège et à toute ma famille

A mes chers frères et mes chères sœurs

A mes chers amis

Ainsi que tous les étudiants de la promotion Master SPI sans oublier

tout

Mes enseignants durant tout mon cursus

Merci à tous.

CHALAB Dahmane

## **Résumé**

Les nuisances dues à l'électricité statique ont une importance de premier ordre dans plusieurs domaines.

Ces nuisances peuvent entraîner de simples gênes (à la production par exemple) qui peuvent être coûteuses, voire destructrices (notamment dans le domaine de la microélectronique) ou bien des dommages plus graves, liés à la sécurité des personnes (explosions dans des zones à risques).

Le but de notre travail est d'étudier la Prévention et la Protection contre le Risque lié à l'électricité statique.

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

### **Mots Clés :**

Statique, charge, danger, risque, protection, prévention.

## **Summary**

Nuisances due to static electricity are of primary importance in a very large number of areas.

These nuisances can lead to simple hindrances (to production for instance) which can be costly, even destructive (especially in the field of microelectronics) or even more serious damage, linked to the safety of people (such as explosions in hazardous areas).

The purpose of our work is to study the Prevention and Protection against the Risk related to static electricity.

Many industrial sectors are affected by these problems related to electrostatic phenomena; it then becomes very important to be able, if not to avoid them, at least to reduce their effects as much as possible.

### **Key words:**

Static, load, danger, risk, protection, prevention.

## ملخص

تعتبر المضايقات الناتجة عن الكهرباء الساكنة ذات أهمية قصوى في عدد كبير جداً من المناطق. يمكن أن تؤدي هذه المضايقات إلى عواقب بسيطة (للإنتاج على سبيل المثال) والتي يمكن أن تكون مكلفة، بل ومدمرة (خاصة في مجال الإلكترونيات) أو حتى أضرار أكثر خطورة مرتبطة بسلامة الناس (انفجارات في مناطق الخطر). الغرض من عملنا هو دراسة الوقاية والحماية من المخاطر المتعلقة بالكهرباء الساكنة. تتأثر العديد من القطاعات الصناعية بهذه المشاكل المتعلقة بالظواهر الكهروستاتيكية؛ ومن ثم يصبح من المهم جداً أن تكون قادرًا، إن لم يكن تجنبها، على الأقل لتقليل أثارها قدر الإمكان.

### كلمات مفتاحية:

ثابتة، شحن، خطر، حماية، وقاية.

# Table des matières

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction générale</b> .....   | 1  |
| <b>Partie bibliographique</b> .....  | 3  |
| <b>Chapitre 1 : Notions de bases.</b> .....                                      | 3  |
| <b>1.1. Introduction</b> .....   | 4  |
| <b>1.2. Notion de base</b> .....   | 4  |
| <b>1.3. Charge statique</b> .....  | 5  |
| <b>1.3.1. Electron</b> .....   | 5  |
| <b>1.3.2. Proton</b> .....   | 5  |
| <b>1.3.3. Noyau</b> .....  | 5  |
| <b>1.4. Historique de l'électrostatique</b> .....                                | 9  |
| <b>1.5. Champ électrique</b> .....   | 11 |
| <b>1.6. Phénomènes physiques pour la création de charges statiques</b> .....     | 13 |
| <b>1.6.1. Effet triboélectrique</b> .....  | 13 |
| <b>1.6.2. L'influence ou induction</b> .....                                     | 14 |
| <b>1.6.3. Effet photoélectrique</b> .....  | 14 |
| <b>1.7. Comment la charge statique est-elle générée ?</b> .....                  | 15 |
| <b>1.8. Problème posé par les charges électriques</b> .....                      | 18 |
| <b>1.8.1. Nuisances dans les procédés de fabrication :</b> .....                 | 21 |
| <b>1.9. Problématique</b> .....  | 22 |
| <b>1.10. Conclusion</b> .....  | 22 |
| <b>Chapitre 2 : Nuisances et dangers de l'électricité statiques.</b> .....       | 24 |
| <b>2.1. Introduction</b> .....   | 24 |
| <b>2.2. Risques de charges statiques</b> .....                                   | 25 |
| <b>2.3. Nuisances des charges statiques</b> .....                                | 28 |
| <b>2.3.1. Nuisances sur les équipements</b> .....                                | 28 |
| <b>2.3.2. Nuisances sur l'être humain :</b> .....                                | 32 |
| <b>2.4. Conclusion</b> .....   | 37 |
| <b>Chapitre 3 : Prévention et protection contre les charges statiques.</b> ..... | 38 |
| <b>3.1. Introduction</b> .....   | 39 |
| <b>3.2. Les principes de prévention de l'électricité statique</b> .....          | 39 |
| <b>3.3. Prévention et protection contre les charges statiques</b> .....          | 40 |



|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.3.1.   | Prévention de la répartition des charges.....                           | 40        |
| 3.3.2.   | Protection contre les nuisances électrostatiques.....                   | 45        |
| 3.4.   | Conclusion .....  | 50        |
| <b>Partie pratique - Chapitre 4 : les méthodes d'analyses des risques et ses préventions....</b> |   | <b>51</b> |
| 4.1.   | Présentation du Complexe .....  | 52        |
| 4.1.1.   | Situation géographique du complexe.....                                 | 52        |
| 4.1.2.   | L'objectif et l'activité du complexe FERTIAL .....                      | 52        |
| 4.1.3.   | Organisation du complexe FERTIAL .....                                  | 52        |
| 4.1.4.   | Unité d'Utilité .....   | 54        |
| 4.1.5.   | Production de l'ammoniac.....   | 54        |
| 4.2.   | Présentation des principales méthodes d'identification des dangers..... | 54        |
| 4.2.1.   | Analyse préliminaire de risques (APR).....                              | 55        |
| 4.2.2.   | Checklist.....  | 62        |
| 4.2.3.   | La méthode du nœud papillon.....  | 64        |
| 4.3.   | Conclusion .....  | 66        |
| <b>Conclusion générale .....</b>   |   | <b>67</b> |
| <b>Bibliographies .....</b>  |   | <b>68</b> |

## Liste des abréviations

|       |  |
|-------|--|
| ESD   | Décharge électrostatique   |
| HT    | Haute tension  |
| ELECT | Electricité  |
| MALT  | Mise à la terre  |
| TNO   | Netherlands Organization for Applied Scientific Research - Pirns Mauritz |
| PE    | D'épicerie en plastique  |
| PTEF  | Le polytétrafluoroéthylène   |

## Liste des Figures

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Figure 1 : Noyau atomique.                                 | 6                           |
| Figure 2 : Représentation d'un atome.                      | 6                           |
| Figure 3 : Attraction et répulsion des atomes.             | 7                           |
| Figure 4 : Formation des ions.                             | 8                           |
| Figure 5 : Champ développé par des charges électriques.    | 12                          |
| Figure 6 : Force électrostatique.                          | 12                          |
| Figure 7 : Triboélectrisation.                             | 14                          |
| Figure 8 : Electrification par influence.                  | 14                          |
| Figure 9 : Electrification par effet photoélectrique.      | 15                          |
| Figure 10 : Chargement par induction.                      | 18                          |
| Figure 11 : Electrification.                               | 19                          |
| Figure 12 : Danger d'électrification.                      | 20                          |
| Figure 13 : Manœuvre dangereuse.                           | 20                          |
| Figure 14 : Un accident dans station d'hydrocarbure.       | 24                          |
| Figure 15 : Décharge électrique.                           | 27                          |
| Figure 16 : Décharge sur les équipements électriques.      | 28                          |
| Figure 17 : Décharge dans des stations de connexion.       | 29                          |
| Figure 18 : Sources d'explosion.                           | 30                          |
| Figure 19 : Explosion dans un gaz inflammable.             | 30                          |
| Figure 20 : Evolution de la décharge électrique.           | 31                          |
| Figure 21 : Explosion dans une station de service.         | 32                          |
| Figure 22 : Explosion au danger électrique.                | 33                          |
| Figure 23 : Brulure dû a une décharge.                     | 34                          |
| Figure 24 : Effet sur le cerveau.                          | Erreur ! Signet non défini. |
| Figure 25 : Effet sur le cœur.                             | 36                          |
| Figure 26 : Effet sur la peau.                             | 36                          |
| Figure 27 : Mesure de charges statiques manuellement.      | 41                          |
| Figure 28 : Mesure de charges statiques avec un capteur.   | 41                          |
| Figure 29 : Ionisation de l'air d'une barre antistatique.  | 43                          |
| Figure 30 : Ionisation de l'air un ventilateur.            | 44                          |
| Figure 31 : ionisation de l'air par un pistolet.           | 44                          |
| Figure 32 : Protection par une mise a la terre.            | 46                          |
| Figure 33 : plaque de protection contre l'électrostatique. | 47                          |
| Figure 34 : Casque isolant.                                | 48                          |
| Figure 35 : Gants isolantes.                               | 48                          |
| Figure 36 : Ecran facial anti UV.                          | 49                          |
| Figure 37 : Bottes isolantes.                              | 49                          |
| Figure 38 : Combinaison de travail.                        | 49                          |
| Figure 39 : Organigramme du complexe.                      | 53                          |
| Figure 40 : Processus d'identification des risques.        | 57                          |
| Figure 41 : exemple de CHECKLIST                           | 62                          |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figure 42 : Représentation générique d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon.</b>                              | <b>64</b> |
| <b>Figure 43 : Représentation détaillée d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon avec la barrière de sécurité.</b> | <b>66</b> |

## Liste des Tableaux

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau 1 : Eléments d'un atome. ....</b>                              | <b>7</b>  |
| <b>Tableau 2 : Valeur de charges générée par action. ....</b>             | <b>25</b> |
| <b>Tableau 3 : Seuil du courant leur effet. ....</b>                      | <b>26</b> |
| <b>Tableau 4 : comment utiliser le tableau de prévention par APR.....</b> | <b>58</b> |
| <b>Tableau 5 : La prévention par la méthode d'APR. ....</b>               | <b>60</b> |

## **Introduction générale**

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

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

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

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

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

Le but de notre travail est d'étudier la Prévention et la Protection contre le Risque lié à l'électricité statique. De nombreux secteurs industriels sont touchés par les problèmes liés aux

phénomènes électrostatiques ; il devient alors très important de pouvoir si ce n'est les éviter au moins en diminuer les effets au maximum.

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

Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique et un état de l'art des charges statiques et Nous allons également donner un aperçu sur les problèmes causés par l'électricité statique.

Dans le deuxième chapitre nous présentons les risques des charges statiques et les nuisances et dangers de l'électrostatique.

Le troisième chapitre est consacré de prévention et protection contre les charges statiques.

La partie pratique dont nous parlons les méthodes d'analyses des risques et ses préventions.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale.

# **Partie bibliographique**

## **Chapitre 1 : Notions de base.**



## 1.1.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 de l'atome 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.

## 1.2.Notion de base

**Danger :** Un danger est toute source potentielle de dommage, de préjudice ou d'effet nocif à l'égard d'une chose ou d'une personne. Fondamentalement, le danger peut entraîner un préjudice ou des effets nocifs pour les personnes (p. ex. des effets sur la santé), pour les organisations (p. ex. pertes de biens ou d'équipement) ou pour l'environnement.

**Risque :** Un risque est la probabilité qu'une personne subisse un préjudice ou des effets nocifs pour sa santé en cas d'exposition à un danger. Cette notion peut également s'appliquer à des situations où il y a perte de biens ou d'équipement ou des effets nocifs pour l'environnement.

**Protection :** Action ou fait de soustraire quelqu'un ou quelque chose à un danger, à un risque qui pourrait lui nuire ; fait de se protéger ou d'être protégé.

**Prévention :** Ensemble de mesures destinées à éviter un événement qu'on peut prévoir et dont on pense qu'il entraînerait un dommage pour l'individu ou la collectivité.

**L'électricité statique :** L'électricité statique est un phénomène de surface généré lorsque deux ou plusieurs surfaces entrent en contact puis sont séparées. Il se produit alors une sorte de dédoublement au cours duquel des électrons négatifs sont transmis d'un atome à l'autre.

### 1.3. La charge statique

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

#### 1.3.1. Electron

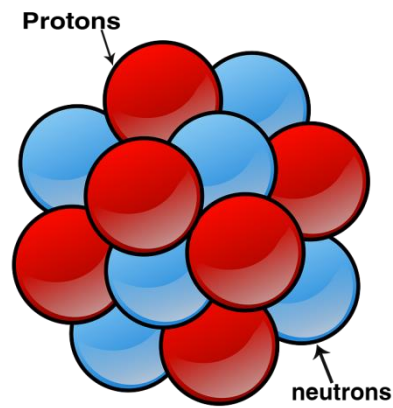
L'électron, un des composants de l'atome avec les neutrons et les protons, est une particule élémentaire qui possède une charge élémentaire de signe négatif. Il est fondamental en chimie, car il participe à presque tous les types de réactions chimiques et constitue un élément primordial des liaisons présentes dans les molécules.

#### 1.3.2. Proton

Le proton est une particule subatomique portant une charge électrique élémentaire positive. Les protons sont présents dans les noyaux atomiques, généralement liés à des neutrons par l'interaction forte. Le nombre de protons d'un noyau est représenté par son numéro atomique  $Z$

#### 1.3.3. Noyau

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



**Figure 1 : Noyau atomique.**

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

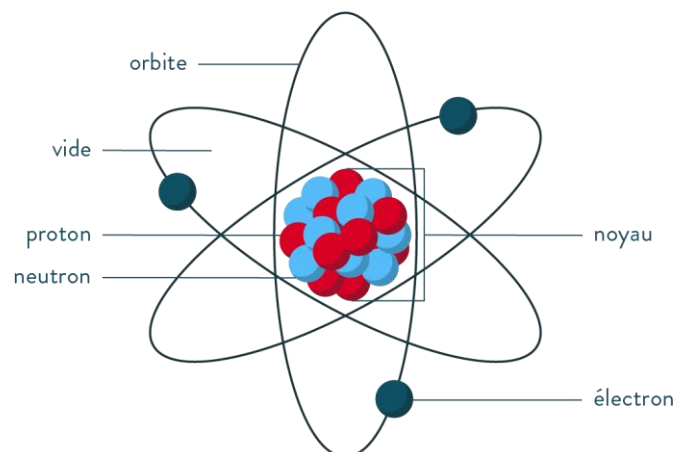
Le noyau d'un atome  $X$  est représenté par  $X_Z^A$ .

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

On a donc :

$$N = A - Z$$

### L'atome



**Figure 2 : Représentation d'un atome.**

- Les charges électriques identiques se repoussent (++) ou (--);

- Et charges électriques opposées s'attirent (+- ou -+);

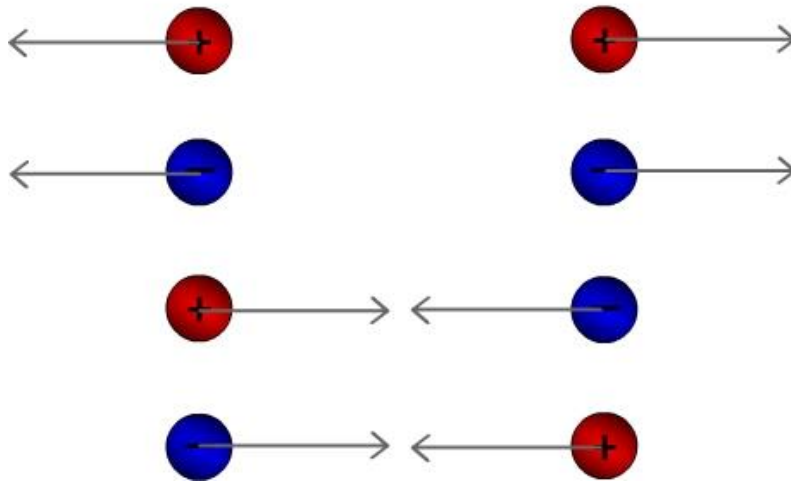


Figure 3 : Attraction et répulsion des atomes.

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

Tableau 1 : Eléments d'un atome.

| Particules | Charge                     | Masse                              | Diamètre             |
|------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Proton     | $+ 1,602 \times 10^{-19}C$ | $1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$ | $10^{-15} \text{ m}$ |
| Electron   | $- 1,602 \times 10^{-19}C$ | $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$  | Ponctuel             |
| Neutron    | 0                          | $1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$ | $10^{-15} \text{ m}$ |

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

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

$$q = N \cdot e^-$$

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

En temps normal le nombre d'électrons d'un atome est égal au nombre de ses protons, l'atome a donc une charge neutre. Il suffit qu'un électron supplémentaire s'ajoute à ceux d'un

atome pour que la charge de celui-ci soit négative. Réciproquement, enlever un électron à un atome rend sa charge positive.

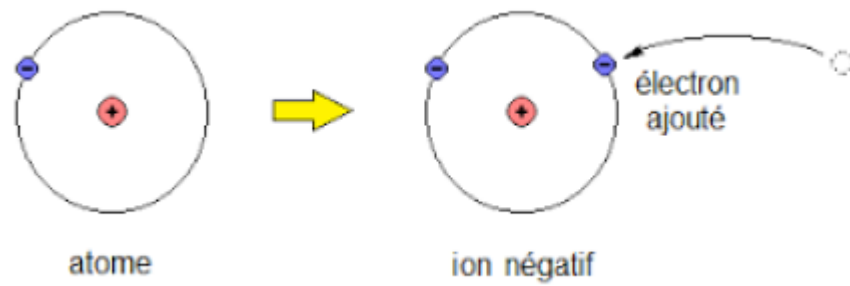
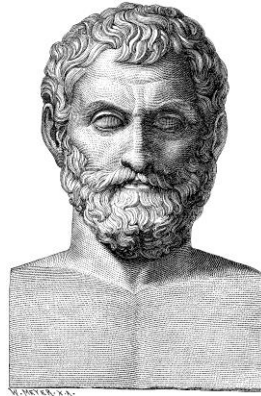


Figure 4 : Formation des ions.

## 1.4. 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 :

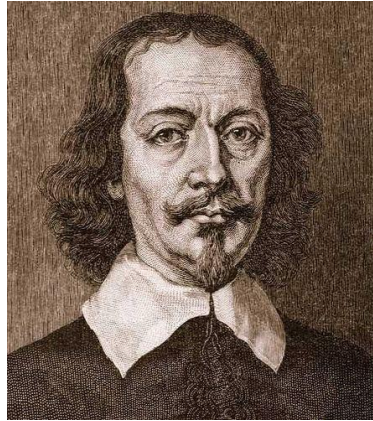
- ✓ **Thalès de Milet (-625, -547)**, célèbre mathématicien, découvre l'électrisation en frottant un morceau d'ambre jaune avec une peau de chat.



- ✓ **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.



### 1.5.Champ électrique

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

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

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

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



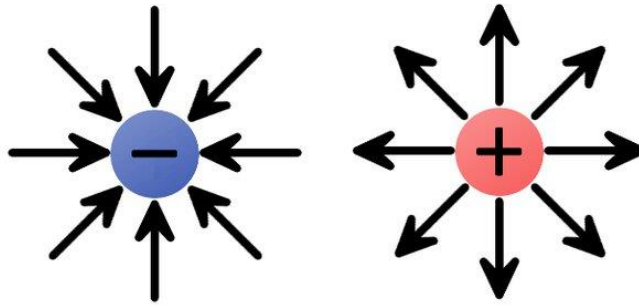


Figure 5 : Champ développé par des charges électriques.

Considérons dans le vide, deux charges ponctuelles  $q_1$  et  $q_2$  fixées en A et B. Les deux charges stationnaires  $q_1$  et  $q_2$  exercent l'une sur l'autre une force proportionnelle à chacune des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. La force électrostatique est dirigée suivant la droite qui joint les charges (figure 6). Elle attractive si les charges sont de signes contraires, répulsive lorsque les charges sont de même signe.

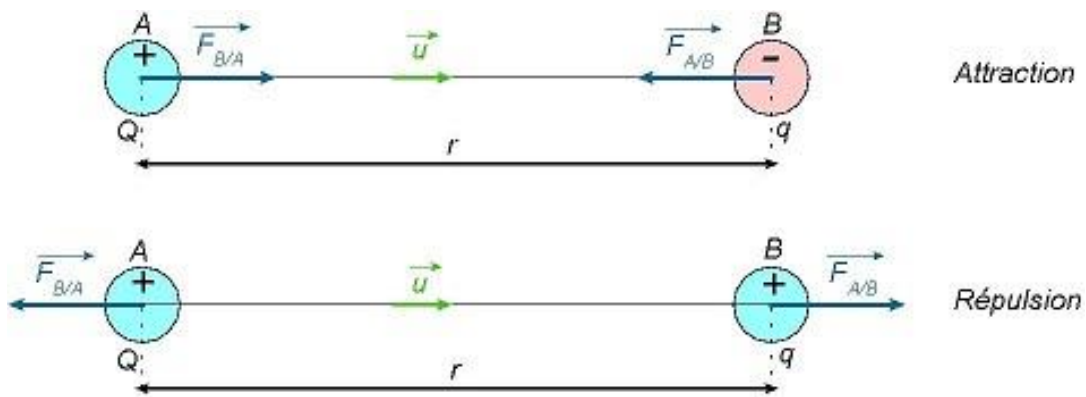


Figure 6 : Force électrostatique.

La loi de Coulomb :

$$F = F_{A/B} = F_{B/A} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_A q_B|}{r^2} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{|q_A q_B|}{r^2}$$

- $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{F/m}$  : permittivité diélectrique du vide ;
- $r$  : distance (m) ;
- $F$  en newton (N) ;

Son unité est le volt par mètre (V/m) mais il peut aussi être exprimé en une unité équivalente qui est Newton par coulomb (N/C). Le champ électrique est défini en un point donner de

l'espace comme le rapport de la force électrostatique  $F$  que subirait une hypothétique particule ponctuelle de charge  $q$  située en ce point, par la valeur de cette charge  $q$  :

$$E = F/q$$

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

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

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

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

### 1.6.1. Effet triboélectrique

Il s'agit d'un transfert de charges électriques entre différents matériaux : lorsque deux matériaux électriquement neutres entrent en contact, il y a un transfert de charges qui aboutit à l'obtention de deux matériaux chargés, l'un chargé 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.

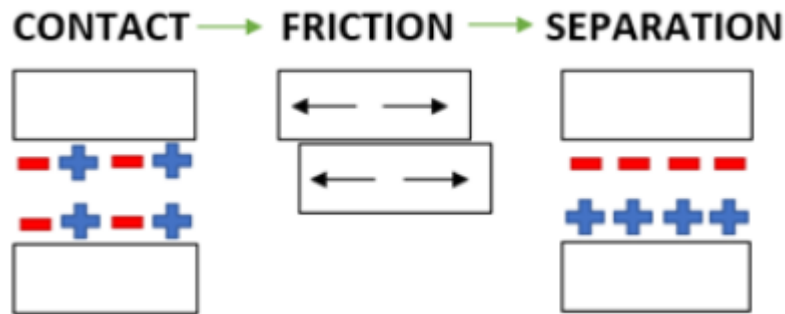


Figure 7 : Triboélectrisation.

### 1.6.2. L'influence ou induction

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

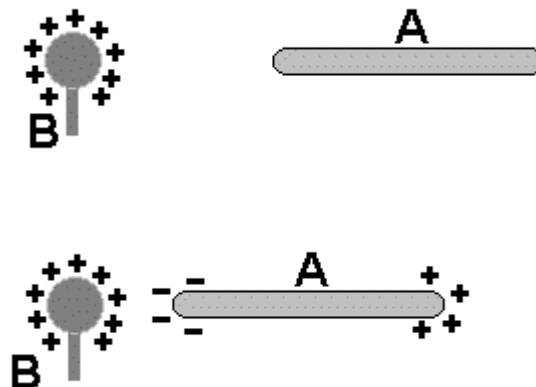


Figure 8 : Electrification par influence.

### 1.6.3. Effet photoélectrique

Quand un métal est exposé à la lumière, des électrons peuvent être éjectés de la surface du métal ; ce phénomène est appelé effet photoélectrique. On utilise également le terme photoémission, et les électrons éjectés du métal sont appelés photoélectrons. Les propriétés et

le comportement des photoélectrons ne diffèrent pas de ceux des autres électrons. Le préfixe photo- indique simplement que les électrons ont été éjectés de la surface du métal par une lumière incidente.

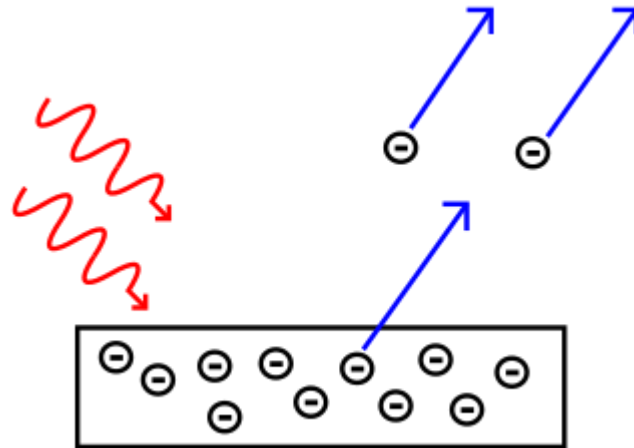


Figure 9 : Electrification par effet photoélectrique.

### 1.7. Comment la charge statique est-elle générée ?

Si les risques électrostatiques doivent être évalués et contrôlés, ou si les effets de la charge statique doivent être exploités, il est important de comprendre comment elle est générée. En effet, une grande partie de l'évaluation des risques statiques consiste à examiner quels mécanismes de charge peuvent réellement se produire, ce qui présuppose au moins une compréhension de base des mécanismes. Dans les situations industrielles courantes, il existe quatre manières fondamentales par lesquelles la charge statique peut être acquise. Chacun est traité comme suit :

#### A. Tribo-charge

La tribo-charge (frottement) est peut-être la manière la plus courante d'acquérir accidentellement une charge, et celle que la plupart des gens connaissent. Chaque fois que deux matériaux dissemblables entrent en contact, les électrons auront une plus grande affinité pour un matériau que pour l'autre, et certains se déplaceront à travers l'interface. Si les deux matériaux sont de bons conducteurs, lorsqu'ils sont séparés, la charge échangée refluera par conduction par le dernier point de contact, et il n'y aura aucune preuve de l'échange de charge qui a eu lieu.

Si l'un des matériaux ou les deux sont isolants, la charge échangée ne pourra pas refluer par conduction et un matériau deviendra chargé positivement et l'autre chargé négativement. Dans ce contexte, ce que l'on entend par le terme "isolant" dépend de la rapidité avec laquelle les deux matériaux sont séparés. Si un matériau modérément conducteur est séparé lentement d'un bon conducteur, la charge aura tout le temps de refluer, les matériaux séparés ne porteront aucune charge et les deux matériaux seront considérés comme de bons conducteurs dans cette situation.

Cependant, si le même matériau modérément conducteur est séparé très rapidement du même bon conducteur, il se peut que la charge ne dispose pas de suffisamment de temps pour refluer. Dans ce cas, les matériaux emporteront la charge et l'on sera réputé être un isolant dans la nouvelle situation.

La direction dans laquelle les électrons se déplacent à travers une interface dépend des énergies de surface relatives des deux matériaux, ce qui signifie qu'un facteur important est leur structure moléculaire. En général, par conséquent, on s'attendrait à ce que si les deux mêmes matériaux étaient mis en contact l'un avec l'autre dans un certain nombre d'expériences dans un nombre quelconque d'emplacements, ce serait toujours le même matériau qui deviendrait chargé positivement. Sur cette base, des listes de matériaux ont été préparées par divers travailleurs dans lesquelles chaque matériau de la liste se charge positivement par rapport à celui qui se trouve en dessous. Une liste comme celle-ci est appelée une "série triboélectrique".

### **B. Courants de diffusion**

Les liquides isolants circulant dans les canalisations peuvent se charger. La charge qu'un liquide qui s'écoule transporte dans un tuyau est appelée « courant d'écoulement ». Plus la zone de contact est grande et plus la vitesse est élevée, plus le courant de flux sera élevé. Si le liquide s'écoule à travers les raccords et les filtres, le courant de flux peut augmenter de manière très significative à mesure que la surface de contact effective et la vitesse augmentent toutes les deux.

La charge peut se produire à n'importe quelle interface liquide. L'agitation ou le pompage d'une suspension ou d'une émulsion dans laquelle la phase continue est un liquide isolant est un moyen particulièrement efficace de générer une charge, car une phase se déplace contre l'autre. La manière de base dont la charge est échangée à une interface liquide est

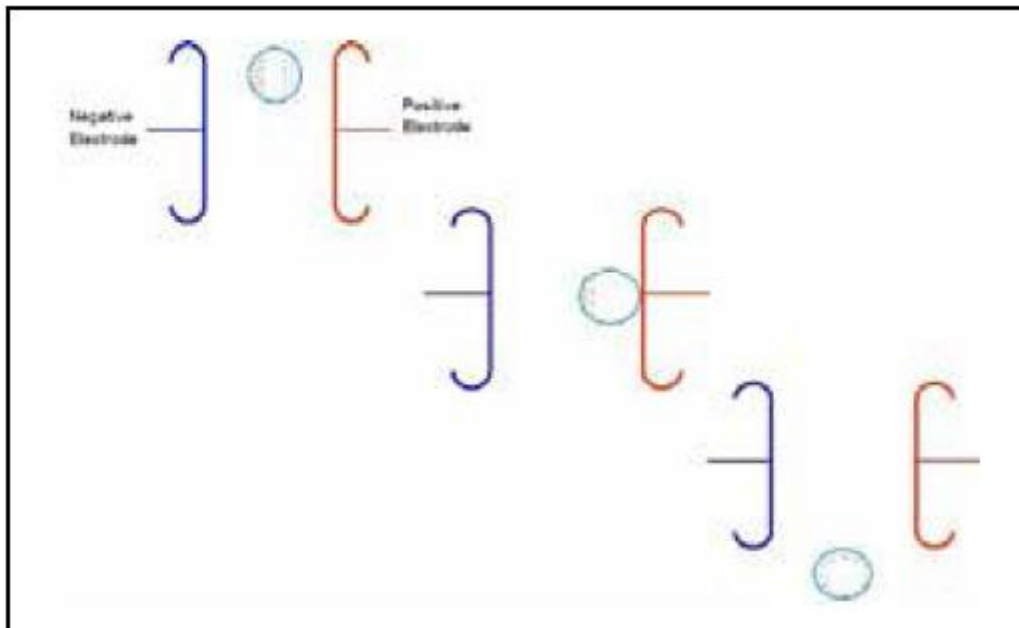
sensiblement la même que pour la tribocharge d'un solide, bien que le mécanisme détaillé de rétention de la charge soit quelque peu différent. Lorsqu'un liquide est en contact avec un solide, tel qu'une paroi de tuyau, une séparation de charge se produit de sorte qu'une polarité est étroitement liée à l'interface, laissant la charge opposée répartie à travers une couche de liquide à une certaine distance de l'interface.

### C. Chargement par induction

Les objets peuvent être chargés simplement en étant à proximité d'un autre objet déjà chargé, par un processus connu sous le nom de charge par induction. Pour que la charge par induction se produise, les matériaux impliqués doivent avoir une conductivité finie bien qu'ils ne doivent certainement pas être de bons conducteurs au sens normal. Considérez le diagramme de la figure 10 (a) ci-dessus. Un objet se trouve dans le champ électrique développé entre les électrodes positive et négative. Parce que l'objet a au moins un certain degré de conductivité, les charges à l'intérieur de l'objet ont été séparées à la suite de l'interaction avec le champ. Cependant, à ce stade, aucune charge nette n'a été perdue ou gagnée par l'objet et s'il devait être retiré du champ électrique, il n'y aurait aucune preuve durable de ce qui s'est passé.

Cependant, si l'objet touche une électrode (et peu importe laquelle), comme dans la figure 1 (b), parce que l'électrode et l'objet sont suffisamment conducteurs, la charge se sépare de ce côté (négatif, dans l'illustration) est évacué à travers l'électrode. Désormais, lorsque l'objet quitte le système d'électrodes, il emporte la charge résiduelle - positive dans l'illustration de la figure 10 (c). Tout ce processus est connu sous le nom de charge par induction.

Après avoir discuté du concept de base de la charge par induction, il est utile de considérer certaines situations spécifiques. L'objet s'est chargé à cause de la séparation de charge initiale induite par le champ électrique. Il y aurait un champ électrique entre les électrodes même si l'une d'elles était en fait au potentiel de la terre et l'autre à une HT (haute tension). Peu importe l'électrode touchée par l'objet - il pourrait en fait se charger.



**Figure 10 : Chargement par induction.**

#### **D. Charge corona**

Corona est un type de ESD, et en tant que tel, le mécanisme est décrit en détail dans la section traitant des décharges. Aux fins de cette section, il suffit de noter que la couronne se produit à partir de points pointus dans des champs électriques, ce qui entraîne un flux d'ions positifs ou négatifs s'éloignant du point. Tout objet, conducteur ou isolant, qui intercepte ce flux d'ions va capter les ions. Si l'objet est un conducteur mis à la terre, la charge acquise sera très rapidement perdue, mais sinon l'objet se retrouvera avec une charge nette positive ou négative, selon la polarité de la couronne. En variante, si la pointe acérée se trouve dans un champ électrique élevé et fait partie d'un objet conducteur électriquement isolé, l'objet entier peut être laissé avec une charge nette en raison de la perte de charge.

Bien que ce ne soit pas le moyen le plus courant d'acquérir une charge accidentellement, lorsqu'on se rend compte que les points aigus nécessaires peuvent simplement être des coins, voire des poils ou des fibres, il est clair que l'acquisition de charge par inadvertance par ce processus est tout à fait possible.

### **1.8.Problème posé par les charges électriques**

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.



**Figure 11 : 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 ESD. 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 12 : 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 HT (haute tension) qui sont fréquentes, un arc risque également de se former entre une partie active à HT (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.



**Figure 13 : 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.

### **1.8.1. 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. 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 ESD (décharge électrostatique) provoque des dommages latents à l'assemblage des composants électroniques. Composant détruit.

## 1.9.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 tous les secteurs allant de la sidérurgie, aérospatial, les entreprises pétrolières, pharmaceutiques, les centrales nucléaires, etc.

Le risque peut être d'un simple accident à une catastrophe naturelle, économique ou même humaine. Dans notre travail, nous allons essayer de développer ce phénomène encore tabou et méconnaissable dans nos entreprises algériennes, nous allons étudier les risques dû à ce phénomène, la prévention et la protection et enfin, nous allons procéder à un essai expérimental pour élimination des charges statiques.

## 1.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu sur le phénomène électrostatique et nous avons défini l'électricité statique ainsi que les phénomènes physiques pour la création des charges statiques et l'explication de 3 modes d'électrisation.

Cette étude bibliographique nous a permis d'identifier l'électricité statique et reconnaître les risques dans une vue d'ensemble.

# **Chapitre 2 : Nuisances et dangers de l'électricité statiques.**

## 2.1.Introduction

Le danger le plus grand et le plus courant résultant de l'électricité statique survient parce que les petites étincelles qui sont simplement gênantes dans notre monde quotidien peuvent facilement enflammer de nombreux matériaux inflammables que l'on trouve dans l'industrie. En effet, même des étincelles bien trop petites pour être ressenties par les humains peuvent facilement enflammer bon nombre des substances industrielles les plus courantes. Par conséquent, l'électricité statique dans de nombreux environnements industriels peut entraîner et entraîne des incendies et des explosions causant des blessures et même la mort de personnes, la destruction d'installations et la perte d'activité. Réduire clairement le risque que de tels incidents se produisent est une bonne décision sécuritaire.

Toutefois, lorsque des personnes risquent d'être blessées, il existe également une obligation morale et éthique de veiller, dans la mesure du possible, à ce que ces risques soient maintenus à un niveau acceptable.



**Figure 14 : Un accident dans station d'hydrocarbure.**

## 2.2. Risques de 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.

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

- Général
- 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 2 : 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 vinyle       | 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 :

**Tableau 3 : Seuil du courant leur effet.**

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

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.

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



**Figure 15 : 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.



## 2.3.Nuisances des charges statiques

### 2.3.1.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 ESD (décharge électrostatique) produit suffisamment d'énergie pour endommager gravement ces composants. Les ESD (décharge électrostatique) 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.

- 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 16 : 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 ESD (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.

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



**Figure 17 : 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  $10^{-4}$  joule pour un mélange vapeurs/air et  $10^{-6}$  joule 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  $Q = C \cdot U$  (équivalent à la charge d'un condensateur)

✓ Où  $U$  représente le potentiel du corps chargé,

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

- ✓ 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.

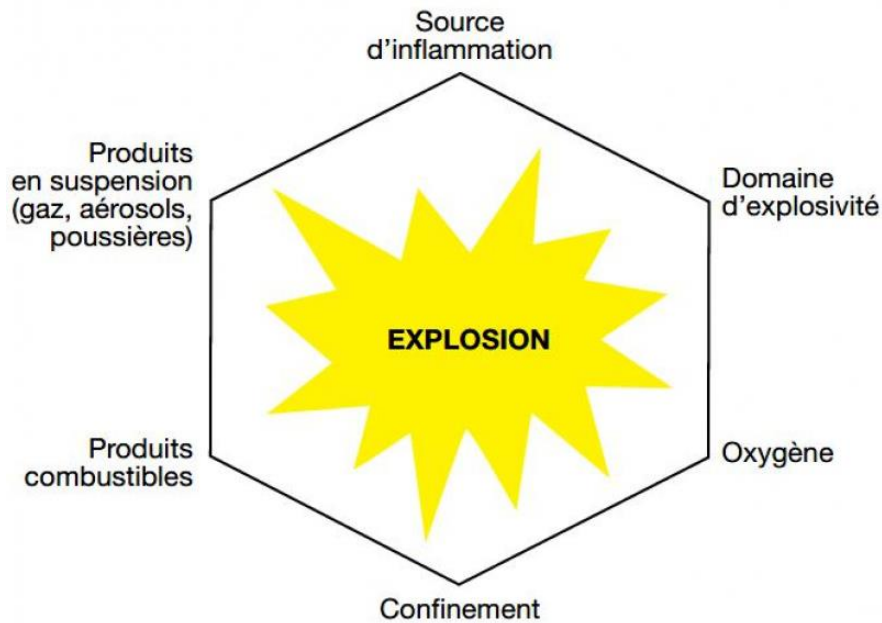


Figure 18 : Sources d'explosion.



Figure 19 : 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.

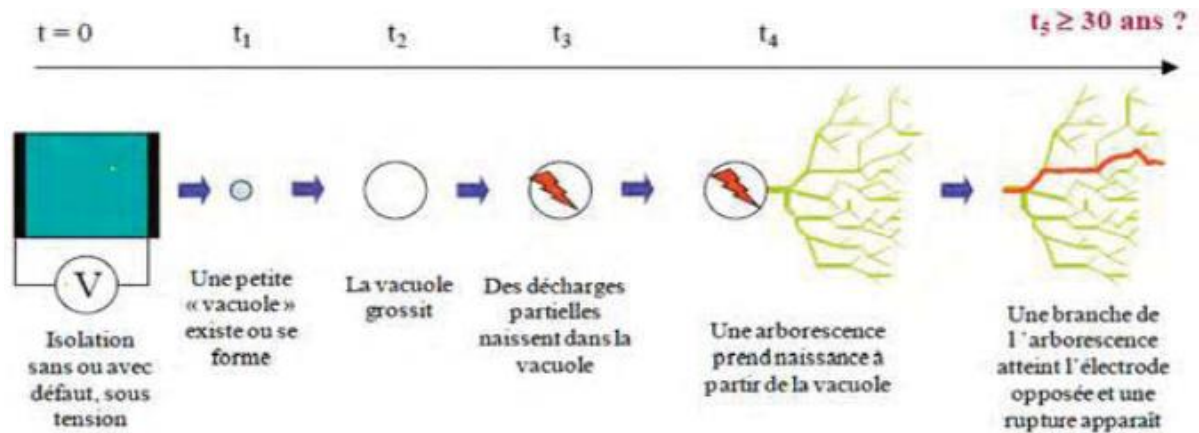


Figure 20 : Evolution de la décharge électrique.

- 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 ESD (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.

### 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.



**Figure 21 : Explosion dans une station de service.**

### 2.3.2. 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 :

#### - **L'exposition délibérée :**

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



**Figure 22 : 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'ELECT 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 minimes.

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 diagnostiquées que plus tardivement.
- Les lésions associées, sans lien avec le phénomène électrique, mais directement liées à l'accident ;

### **2.3.2.1. Les effets immédiats**

#### **a. 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 23 : 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.

#### **b. 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 24 : 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 ;

#### **c. 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.

#### **d. 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.



### 2.3.2.2. Les effets secondaires

#### a. 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.

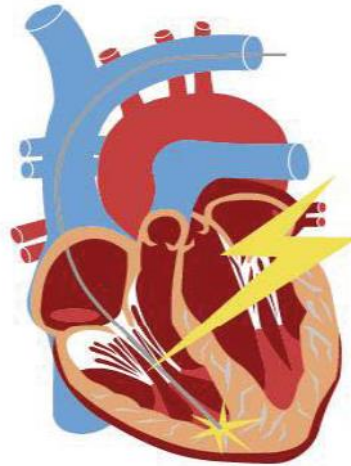


Figure 25 : Effet sur le cœur.

#### b. Neurologiques

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

#### c. Traumatiques

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



Figure 26 : Effet sur la peau.

## **2.4.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 3 : Prévention et protection contre les charges statiques.**

### **3.1.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. Pour améliorer la sécurité des employés, différentes réglementations ont vu le jour ainsi que différentes mesures de préventions.

Par exemple, la circulaire TR 22/49 du 15 novembre 1949 traite spécifiquement des précautions à prendre en compte pour la prévention des dangers de l'électricité statique. Les mesures générales de protection des biens et des personnes sont assez complètes. Elles préconisent l'intégration de la sécurité dès la conception d'une installation. Dans le cas d'une installation en fonctionnement, la préoccupation de la sécurité doit être permanente et en adéquation avec l'évolution des équipements.

### **3.2.Les principes de prévention de l'électricité statique**

Tous les problèmes liés à l'électricité statique dérivent de :

- La production de charges électriques ;
- L'accumulation de ces charges sur des corps isolants ou des conducteurs isolés ;
- Le champ électrique produit par ces charges, qui génère à son tour une force ou une décharge disruptive.

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.

### **3.3.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 ESD (décharge électrostatique) ... Parallèlement, un besoin en normalisation s'est développé pour proposer des solutions communes de caractérisation des phénomènes électrostatiques qui soient les plus reproductibles possibles.

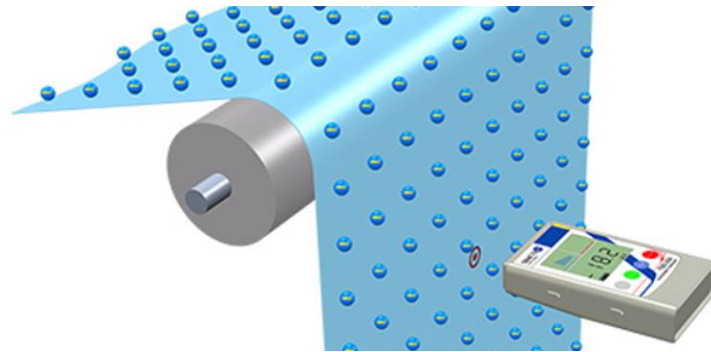
Pour éviter l'accumulation de charge sur des isolants ou des conducteurs isolés, il existe une méthode à la fois très simple et très efficace qui consiste à augmenter le taux d'humidité de l'air. En effet, une très légère augmentation de l'humidité peut parfois résoudre les problèmes, toutefois, il n'est 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 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. Pour réaliser cette ionisation on utilise deux méthodes différentes : l'ionisation par effet couronne (éliminateur à induction ou à HT) et l'ionisation par rayonnement (éliminateur radioactif).

#### **3.3.1.Prévention de la répartition des charges**

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 du statique pour faciliter un processus de fabrication.

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. On peut mesurer manuellement avec un appareil de mesure de champ statique sans contact :



**Figure 27 : Mesure de charges statiques manuellement.**



**Figure 28 : 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.

### **3.3.1.1. La suppression de la création de charges électrostatiques**

Il s'agit de la première approche de prévention électrostatique à adopter, car c'est la seule mesure préventive qui élimine le problème à la source. Cependant, des charges sont générées chaque fois que deux matériaux, dont un au moins est isolant, entrent en contact et sont ensuite séparés. En pratique, des charges peuvent même être produites lors du contact ou de la séparation d'un matériau avec lui-même. En fait, la production de charges implique les couches superficielles des matériaux. Etant donné que la moindre différence au niveau de l'humidité ou de la contamination superficielles se traduit par la production de charges statiques, il est impossible d'éviter totalement leur formation.

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 :

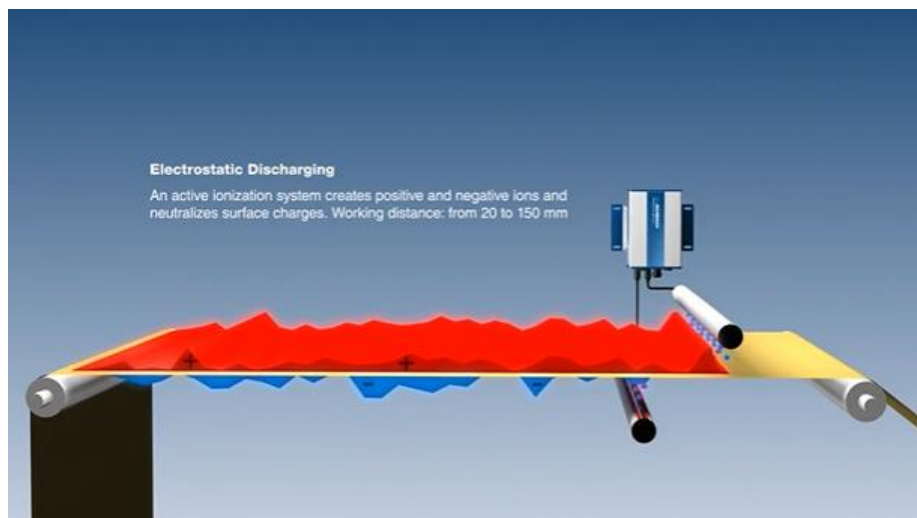
- Eviter de mettre en contact des matériaux qui ont des affinités électroniques très différentes (c'est-à-dire s'ils sont très éloignés l'un de l'autre dans les listes triboélectriques). Par exemple, il faut éviter tout contact entre le verre et le Teflon (PTFE), ou entre le PVC et le polyamide (Nylon) ;
- 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 ESD (décharge électrostatique) pouvant se produire, et évaluer leur pouvoir d'inflammation. Ces mesures dépendent de :

- ✓ La nature de l'activité de l'entreprise,
- ✓ Les matières premières utilisées,
- ✓ La conception et l'implantation du matériel de fabrication et de manutention,
- ✓ 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 HT (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 29 : Ionisation de l'air d'une barre antistatique.**

**La soufflerie ionisante :** Les produits en matière plastique, par suite d'une charge statique, attirent des poussières. Ces particules adhérentes 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.





Figure 30 : 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 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 HT (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 dépeussierage des surfaces



Figure 31 : ionisation de l'air par un pistolet.

**Le bec à air ionisé :** Les becs à air ionisé diffusent un flux d'air ionisé puissant destiné à nettoyer et à neutraliser la surface en même temps. Les becs 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 (MALT)
- 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

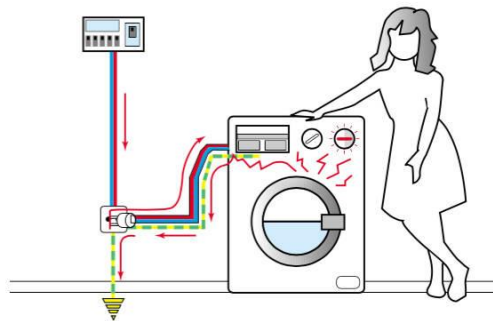
### **3.3.2. Protection contre les nuisances électrostatiques**

#### **3.3.2.1. Mise à la terre**

La règle de base en matière de prévention des charges électrostatiques consiste à éliminer les différences de potentiel entre les objets. Pour ce faire, on peut soit les raccorder, soit les mettre à la terre. Les conducteurs isolés peuvent cependant accumuler des charges et peuvent donc se charger par induction, caractéristique qui leur est propre. Les décharges provenant des conducteurs peuvent prendre la forme d'étincelles à HT (qui sont dangereuses). Cette règle est conforme aux recommandations concernant la prévention des chocs électriques qui exigent également que toutes les parties métalliques d'un équipement électrique soient reliées à la terre, comme le demande la norme française : Installations électriques à basse tension — Règles — Additif à la norme française homologuée NFC 15-100, juillet 1977. Pour obtenir une sécurité électrostatique maximale, problème qui nous préoccupe ici, cette règle doit être généralisée à tous les éléments conducteurs, y compris les châssis métalliques des tables, les poignées de porte, les composants électroniques, les réservoirs utilisés dans l'industrie chimique et les châssis des véhicules servant au transport d'hydrocarbures.

Pour obtenir une sécurité électrostatique idéale, chaque élément devrait être conducteur et constamment relié à la terre ; de ce fait, toutes les charges seraient transférées vers la terre. Dans ce cas, tous les éléments seraient toujours équipotentiels et le champ électrique (ainsi

que le risque de décharge) serait, dès lors, nul. 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 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 MALT, celui-ci doit être solide et fiable. Ainsi les câbles de MALT 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 MALT.



**Figure 32 : Protection par une mise a la terre.**

**3.3.2.2. La 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 :

- 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).



**Figure 33 : plaque de protection contre l'électrostatique.**

**3.3.2.3. 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 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 34 : Casque isolant.

- D'une paire de gants isolantes,



Figure 35 : Gants isolantes.

- D'un écran facial anti-UV,



**Figure 36 : Ecran facial anti UV.**

- Des chaussures ou bottes isolantes de sécurité,



**Figure 37 : Bottes isolantes.**

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



**Figure 38 : Combinaison de travail.**

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

### **3.4.Conclusion**

Dans ce chapitre qui concerne la prévention et protection contre le risque lié à l'électricité statique, elle repose, d'une part, sur la mise en sécurité des installations et des matériels électriques et, d'autre part, sur le respect des règles de sécurité lors de leur utilisation ou lors d'opération sur ou à proximité des installations électriques.

**Partie pratique - Chapitre 4 :**  
**les méthodes d'analyses des**  
**risques et ses préventions.**



## **4.1. Présentation du Complexe**

### **4.1.1. Situation géographique du complexe**

Il est situé au bord de la mer, sur le plat forme industrielle d'Arzew a 40Km à l'ouest d'Oran, 03Km a l'est d'Arzew et 04Km à l'ouest de ville de BETHIOUA.

### **4.1.2. L'objectif et l'activité du complexe FERTIAL**

L'entreprise FERTIAL a été conçue pour atteindre trois objectifs essentiels :

- Valoriser les hydrocarbures par un traitement local.
- Dégager un surplus pour l'exportation des engrais et de l'ammoniac.
- Satisfaire la demande nationale en matière d'engrais azote.

Afin de réaliser ces objectifs, FERTIAL dispose de :

- ✓ Deux unités de production de l'ammoniac (10 I, 10 II) avec une capacité de production de 1000 tonnes/j/unité, suivant deux procédés différents CHEMICO et KELLOGG.
- ✓ Trois unités de production de l'acide nitrique (20 I, 20 IIA/IIB) fonctionnent selon le procédé CHEMICO et dont la capacité de production est de 400 tonnes/j/unité.
- ✓ Trois unités de nitrate d'ammonium (30 I, 30 IIA/IIB) selon le procédé CHEMICO produisant 500 tonnes/j/unité ;
- ✓ Trois centre utilités pour le traitement de l'eau de mer, la production d'eau distillée et de la vapeur d'eau (50 I, 50 II, 50 III).
- ✓ Un groupe turbo alternateur pour la production d'énergie électrique.
- ✓ Deux unités de stockages et de conditionnement des engrais (U70).
- ✓ Un centre pour le stockage d'ammoniac (U80).
- ✓ Un laboratoire pour les analyses physico-chimiques.

### **4.1.3. Organisation du complexe FERTIAL**

L'usine d'Arzew FERTIAL se compose de plusieurs directions (Figure 39) :

- Direction de production. Elle comporte toutes les utilités de production
- Direction de maintenance.
- Direction technique.
- Direction administration.
- Direction ressources humaines.

- Direction finance.
- Direction sécurité.
- Direction sécurité.

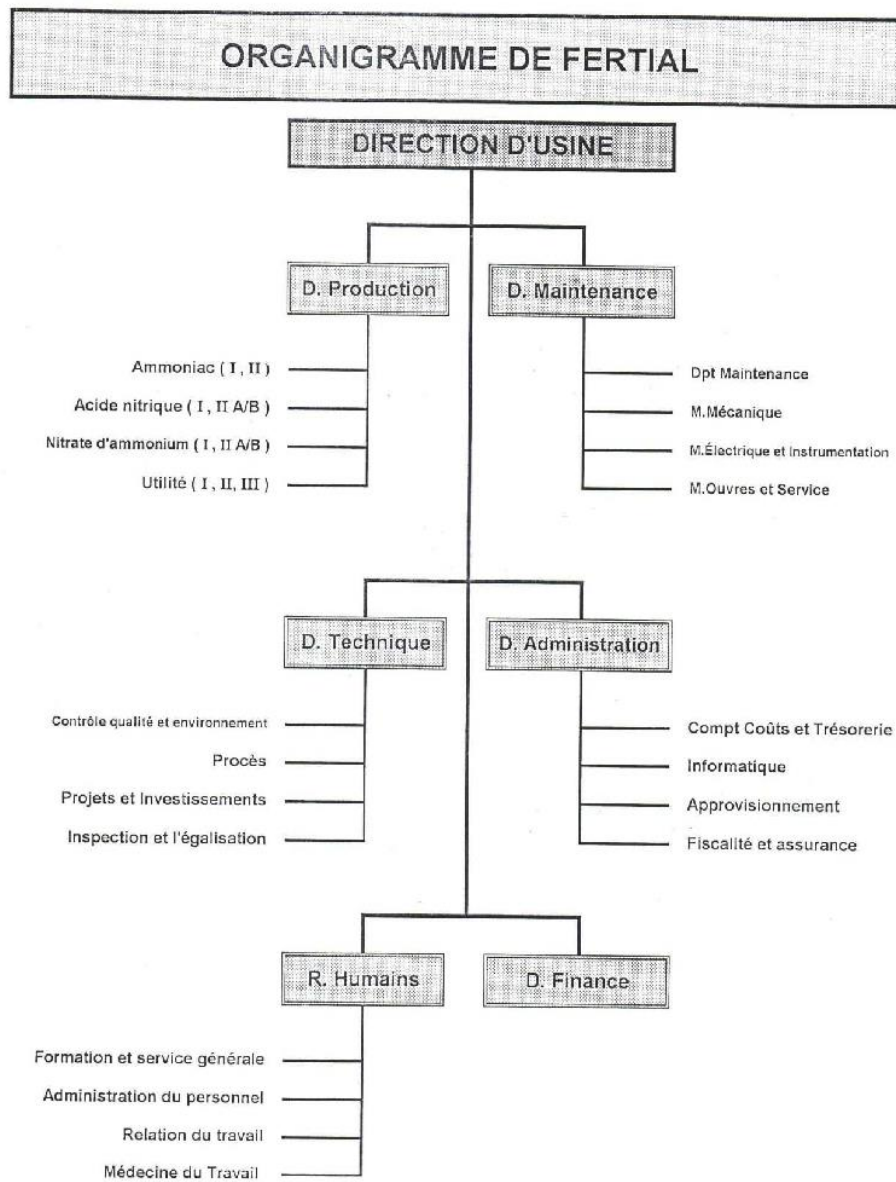


Figure 39 : Organigramme du complexe.

#### **4.1.4. Unité d'Utilité**

L'unité d'utilité sert à produire la matière première pour le fonctionnement des unités du crée par un contact avec les tubes des condenseurs dans lesquelles passe l'eau de mer froide.

#### **4.1.5. Production de l'ammoniac**

L'ammoniac est un composé chimique de formule. C'est une molécule trigonale, sous forme gazeuse utilisée dans l'industrie des engrais, des explosifs et de polymères.

L'ammoniac gazeux, qui donne 82% d'azote, sert aussi d'engrais azoté ; il est injecté directement dans le sol sous forme d'ammoniac liquéfié sous pression. Une fois dissous dans l'eau, le gaz ammoniac forme une base (l'ammoniaque) de formule.

##### **4.1.5.1. Propriétés physiques de l'ammoniac.**

L'ammoniac est un gaz incolore à odeur piquante dont les caractéristiques physicochimiques sont :

- ✓ Masse moléculaire : 17 g/mole
- ✓ Température de vaporisation : -33.35 à pression atmosphérique.
- ✓ Température de fusion : -78.5.
- ✓ Solubilité : 46g dans 100g d'eau.
- ✓ Densité du gaz par rapport à l'air : 0.597.
- ✓ Température auto inflammation : 850
- ✓ À 5% dans l'air est mortel.

## **4.2.Présentation des principales méthodes d'identification des dangers**

Comme méthode d'analyse, On a :

- L'analyse préliminaire de risque (APR)
- L'analyse par liste de contrôle
- L'analyse par « Et- si ? » /Liste de contrôle
- L'étude HAZOP
- L'analyse de modes de défaillance, de leurs effets combinés et de leur criticité (AMDEC)
- L'analyse par arbre de panne
- L'analyse par arbre d'événements

- La représentation des résultats par l'approche nœud papillon
- La démarche du Risk Management Program (RMP)/Conseil de réduction des risques d'accidents industriels majeurs (CRAIM)

Nous allons choisir 3 méthodes et les analyser

#### **4.2.1. Analyse préliminaire de risques (APR)**

##### **A. Description de l'analyse préliminaire de risques**

Une analyse préliminaire de risque (APR) est une technique dérivée des exigences du « U.S. Military Safety Program MIL-STD882D ». Une analyse préliminaire de risque, dans l'industrie chimique par exemple, s'attarde aux substances dangereuses et aux procédés principaux de l'usine.

L'analyse préliminaire de risque s'applique aussi à des systèmes et à des ouvrages n'utilisant pas de substances dangereuses. Elle comporte, dans ces cas, une identification des dangers par un processus systématique d'analyse y incluant une analyse détaillée du matériel et des logiciels, de l'environnement (dans lequel le système existe), ainsi que des utilisations et des applications anticipées.

L'APR est généralement réalisée tôt dans le développement d'un projet. À ce moment, peu d'information est disponible sur les détails de conception et, par exemple, sur les procédures d'exploitation et d'entretien. En conséquence, l'APR est souvent le précurseur d'autres analyses de dangers plus élaborées. C'est une méthode qui offre un bon rapport coût/bénéfice.

L'APR dresse une liste de dangers et de situations dangereuses typiques en considérant les caractéristiques suivantes de l'ouvrage :

- Matières premières, produits intermédiaires et finaux, et leur réactivité ;
- Matériaux de construction utilisés ;
- Équipements utilisés ;
- Plan d'aménagement du site et des équipements ;
- Environnement où se situe l'ouvrage ;
- Activités d'exploitation de l'ouvrage (essais, entretien, activités humaines, etc.) ;
- Interfaces entre les diverses composantes du système.

Un (ou plusieurs) analyste(s) évalue(nt) l'importance des dangers applicables à l'ouvrage et assigne(nt) une cote de classification tenant compte de la probabilité et de la gravité de chaque situation de danger. Cette cotation est utilisée pour hiérarchiser les recommandations de l'équipe d'analystes visant l'amélioration de la situation.

### **B. Objectifs de l'analyse préliminaire de risques**

L'APR, souvent utilisée pour évaluer les dangers au début de la vie d'un ouvrage, est appliquée lors des phases de conception ou de R&D et peut être très utile lors de la sélection d'un site pour son installation. Elle est aussi utilisée lors des phases préliminaires des projets pour effectuer les revues de conception avant le développement des plans et devis détaillés de l'ouvrage.

### **C. Application de l'analyse préliminaire de risques**

Bien que la technique d'APR soit normalement utilisée dans les phases préliminaires de conception d'un système ou d'un ouvrage où peu d'information est disponible sur les risques potentiels, elle peut aussi être utilisée pour analyser les grandes installations déjà en exploitation ou pour hiérarchiser les dangers lorsque les circonstances empêchent l'utilisation de techniques plus élaborées.

### **D. Principe de l'analyse préliminaire de risques**

- Identifier des situations de dangers (fuites de matières dangereuses toxiques, explosion, incendie, affaissement de barrage, erreurs humaines, conditions climatiques extrêmes, séismes, pannes électriques, pandémie, etc.).
- Déterminer les causes et les conséquences d'une situation de dangers.
- Mettre en lumière les barrières de sécurité existantes de prévention et/ou de protection (c.-à-d. les mesures de traitement des risques) et proposer des améliorations au besoin.

### E. Processus d'identification des risques

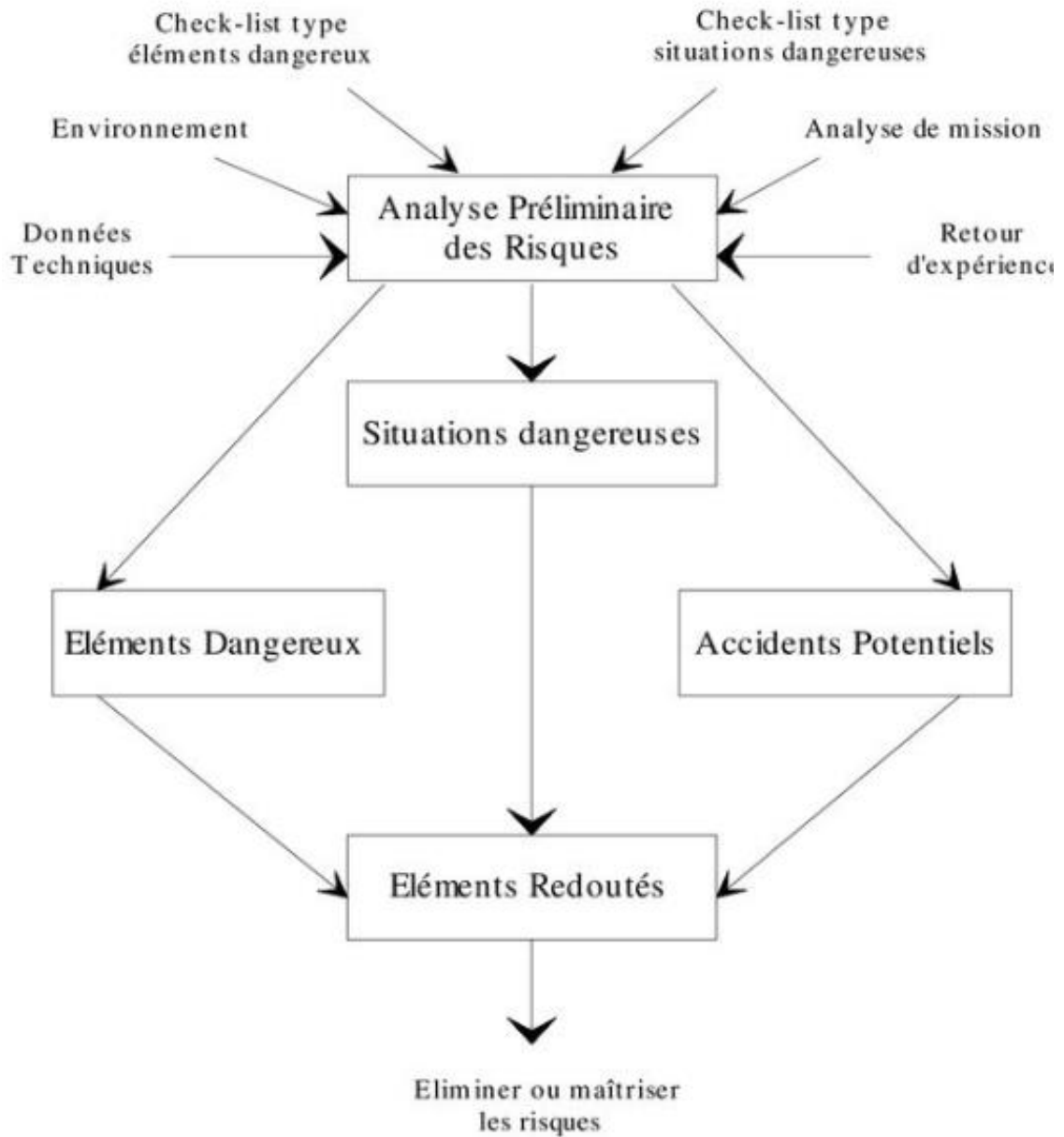


Figure 40 : Processus d'identification des risques.

### F. La prévention par la méthode d'APR

L'APR est une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'analyse des risques. Concrètement, l'application de cette méthode réside dans le renseignement d'un tableau en groupe de travail pluridisciplinaire.

Le tableau utilisé est présenté ci-après :

Tableau 4 : comment utiliser le tableau de prévention par APR

| SYSTEME : |                      |                           |                      |                     |                               |                                     | DATE :       |
|-----------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| N°        | PRODUIT / EQUIPEMENT | EVENEMENT REDOUTE CENTRAL | EVENEMENT INITIATEUR | PHENOMENE DANGEREUX | INTENSITE - CIBLE POTENTIELLE | BARRIERES DE SECURITE INDEPENDANTES | OBSERVATIONS |

La première ligne permet de situer la partie de l'installation étudiée. Les modes de fonctionnement normal, transitoire et dégradé sont étudiés dans l'analyse des risques. Seules celles retenues apparaissent dans l'étude

La colonne n°1 désigne les numéros des scénarios étudiés.

La colonne n°2 désigne le produit ou l'équipement étudié en rapport avec la partie de l'installation désignée à la première ligne.

La colonne n°3 désigne l'Evènement Redouté Central (situation de danger). Par exemple, la mise en suspension de poussières, la fuite de gaz ou l'inflammation de matières combustibles.

La colonne n°4 désigne l'Evènement Initiateur (cause de la situation de danger). Un Evènement Redouté Central peut avoir plusieurs Evènements Initiateurs, aussi bien internes (défaillance mécanique, erreur humaine, points chauds, ...) qu'externes (effets dominos, ...).

La colonne n°5 désigne les Phénomènes dangereux susceptibles de découler de l'Evènement Redouté Central (ex : explosion, incendie, pollution des eaux superficielles, etc.)

La colonne n°6 recense les Cibles potentielles (homme, structures, ...) pouvant être atteintes par le Phénomène dangereux considéré et l'Intensité du phénomène : Sur site et/ou Hors du site. Cette information permet la cotation de la gravité G. Si, au cours de l'analyse des risques, le groupe de travail a des difficultés pour estimer les effets du Phénomène dangereux, notamment pour déterminer si ces effets sont susceptibles de sortir des limites d'exploitation, une modélisation peut être réalisée dès ce stade afin de lever cette incertitude.

La colonne n°7 présente, pour les scénarios identifiés, les principales barrières de sécurité indépendantes. La distinction entre les barrières de protection et de prévention est réalisée sous la forme de 2 sous-colonnes.

La colonne n°8 comprend les éventuelles observations ou remarques relatives au scénario considéré. Sont à consigner dans cette colonne, l'argumentaire relatif à la définition du

phénomène dangereux, à la prise en compte ou non de certaines cibles, ou à la cotation en gravité.

Seuls les évènements plausibles, compte tenu des conditions de mises en œuvre des produits ou des installations, ont été retenus. Les enchainements d'évènement considérés comme physiquement impossible ne sont pas repris dans les tableaux.

Seuls les scénarios susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur de l'établissement sont considérés comme accidents majeurs potentiels et sont retenus dans la suite de l'Etude des Dangers.

Maintenant, cette méthode est appliquée au danger de l'électricité statique :



Tableau 5 : La prévention par la méthode d'APR.

| INSTALLATIONS ANNEXES |   |                           |   |                                |   |                                     |   |  |
|-----------------------|---|---------------------------|---|--------------------------------|---|-------------------------------------|---|--|
| N°                    | PRODUIT / EQUIPEMENT                                    | EVENEMENT REDOUTE CENTRAL | EVENEMENTS INITIATEURS                        | PHENOMENE DANGEREUX            | INTENSITE -CIBLE POTENTIELLE                        | BARRIERES DE SECURITE INDEPENDANTES |   | OBSERVATIONS   |
|                       |   |                           |   |                                |   | PREVENTION                          | PROTECTION                                      |  |
| 1                     | Manipulation de gaz (Oxygène, acétylène) dans l'atelier | Fuite de gaz              | Erreur humaine                                | Formation de nuage inflammable | Sur site :<br>/<br>Hors site :<br>/                 | -Formation du Personnel             | Faibles quantités de gaz (inférieures à 200 kg) |  |
| 2                     |   |                           | Erreur organisationnelle (défaut d'entretien) |                                |   | Entretien régulier                  |   |  |
| 3                     |   |                           | Défaillance matérielle (flexible, bouteille)  |                                |   | Conformité du matériel              |   |  |
| 4                     |   |                           | Choc mécanique                                |                                |   | Stockage vertical des Bouteilles    |   |  |
| 5                     |   | Inflammation du nuage     | Travaux par point chaud (soudure, etc...)     | Explosion                      | Sur site :<br>Personnel<br>Hors site :<br>Riverains | -Permis de feu                      | Faibles quantités de gaz (inférieures à 200 kg) | <b>Au regard des faibles quantités sur le site et des mesures en place, le risque d'explosion n'est pas susceptible de générer des effets de surpression à l'extérieur</b> |
| 6                     |   |                           | Travaux                                       |                                |   | Plan de Prévention                  |   |  |
| 7                     |   |                           | Incendie voisin                               |                                |   | Distances d'éloignement             |   |  |
| 8                     |   |                           | Erreur humaine (cigarette etc...)             |                                |   | Interdiction de fumer               |   |  |

|           |                          |   |   |                               |                         |                                    |   | <b>du site</b> |
|-----------|--------------------------|---|---|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---|----------------|
| <b>9</b>  | Rejet des eaux d'exhaure | Rejet de matières en suspensions ou d'hydrocarbures | Erreur humaine (défaut d'entretien)               | Pollution du milieu récepteur | <u>Sur site :</u><br>/  | Formation du personnel             | -Débourbeurs séparateurs d'hydrocarbures et boudins absorbants<br>- Ajout de flocculant pour faciliter la décantation |                |
| <b>10</b> |                          |   | Dysfonctionnement des installations de traitement |                               | <u>Hors site :</u><br>/ | Entretien régulier                 |   |                |
| <b>11</b> |                          |   | Conditions climatiques extrêmes                   |                               | /                       | Présence de bassins de Décantation |   |                |

#### 4.2.2. Checklist

##### A. Description de l'analyse par Checklist

La technique d'analyse « Checklist » est une approche utilisant le remue-méninge au cours duquel un groupe de personnes, expérimentées et familières avec le système ou l'ouvrage étudié, pose des questions ou soulève des préoccupations au sujet d'événements accidentels potentiels non désirés. La technique Checklist combine les éléments de la technique par liste de contrôle avec ceux de la technique « CHECKLIST ». Par exemple, l'analyse par liste de contrôle est une technique dont la qualité des résultats varie selon l'expérience de l'analyste qui l'a préparé. Si la liste de contrôle est incomplète, l'analyste qui l'applique ne pourra pas analyser toutes les situations dangereuses potentielles. L'étude « CHECKLIST » permet de compléter l'utilisation de la liste de contrôle par la recherche d'information supplémentaire suscitée par les questions. Cependant, l'analyse « CHECKLIST » ne permet pas de suivre le processus d'une manière aussi systématique que l'analyse par liste de contrôle.



**Figure 41 : exemple de CHECKLIST**

##### B. Objectif de l'analyse Checklist

L'objectif d'une analyse Checklist est d'identifier les dangers, de considérer les types d'accidents qui peuvent se produire dans un système ou lors d'une activité, d'évaluer d'une façon qualitative les effets de ces accidents, et de déterminer si les barrières de sécurité sont adéquates. Les membres de l'équipe effectuant l'analyse formulent fréquemment des propositions d'amélioration.

### **C. Application de l'analyse Checklist**

L'analyse Checklist peut être utilisée à n'importe quel moment du cycle de vie d'un ouvrage ou système.

Le concept d'analyse Checklist encourage l'équipe à poser des questions qui commencent par Checklist. Toute préoccupation au sujet de la sécurité peut être soulevée. Par exemple pour un procédé de fabrication d'un produit chimique :

- ✓ Et si une mauvaise substance était livrée ?
- ✓ Et si la pompe A s'arrêtait pendant la mise en marche du procédé ?
- ✓ Et si l'opérateur ouvrait le robinet A au lieu du robinet B ?

Comme la plupart des méthodes d'identification de dangers, la méthode Checklist fonctionne mieux lorsqu'elle est appliquée par une équipe familière avec le système à l'étude. Bien qu'elle puisse servir pour évaluer des procédés à tout niveau de détails, elle est généralement utilisée à un niveau moins élevé de détails que la technique AMDEC par exemple. Souvent, une analyse Checklist est la première évaluation d'un système et devient le précurseur d'études subséquentes plus détaillées.

### **D. Principe de l'analyse Checklist**

- Approche par remue-méninge en groupe de travail.
- Approche systématique favorisée par la combinaison à une liste de contrôle.

### **E. La prévention par la méthode de Checklist**

C'est une méthode qui dépend de l'identification de certaines tâches spécifiques à un domaine spécifique qui contient un ensemble de mesures préventives et de méthodes de protection contre les risques liés au travail, dont nous mentionnons pour notre sujet étudié reliant les dispositifs à MALT ainsi que de les mentionner porter des chausseurs antistatiques pour éviter la création des charges donc nous présentons notre travail dans le programme Excel de checklist pour préventif de l'électricité statique.

### 4.2.3. La méthode du nœud papillon

#### A. La représentation des résultats par l'approche nœud papillon

La représentation nœud papillon existe depuis plusieurs années, mais a suscité un grand intérêt dans les dernières années. Elle est utilisée dans de nombreux secteurs industriels et a été développée par la compagnie Shell. L'approche est de type dit arborescente ce qui permet de visualiser en un coup d'œil les causes possibles d'un accident, ses conséquences et les barrières de sécurité mises en place. L'événement non désiré (au centre) peut être le résultat de plusieurs causes possibles (identifiées par une analyse de panne ou de défaillance). À son tour, si celui-ci se matérialise, divers phénomènes dangereux peuvent engendrer des effets sur des éléments sensibles du milieu dans lequel on se trouve (identifiées une analyse de panne ou de défaillance). À son tour, si celui-ci se matérialise, divers phénomènes dangereux peuvent engendrer des effets sur des éléments sensibles du milieu dans lequel on se trouve (identifiées par une analyse d'événements ou de conséquences).

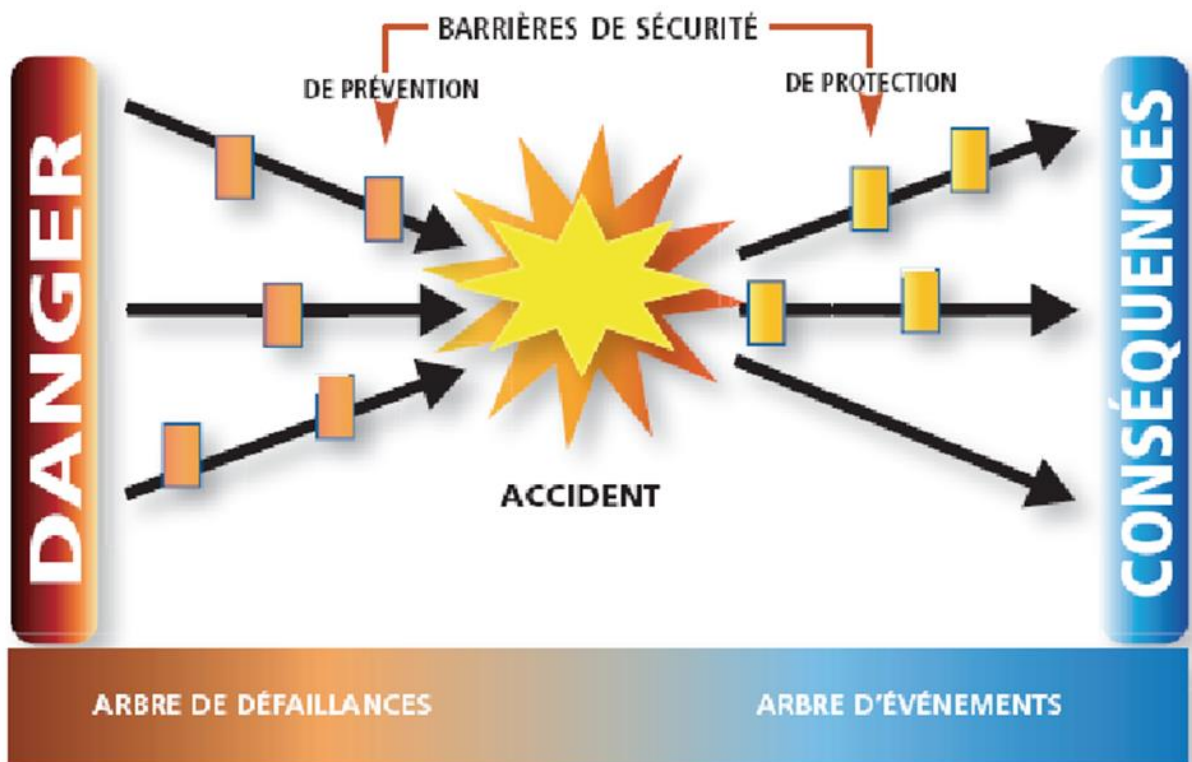


Figure 42 : Représentation générique d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon.

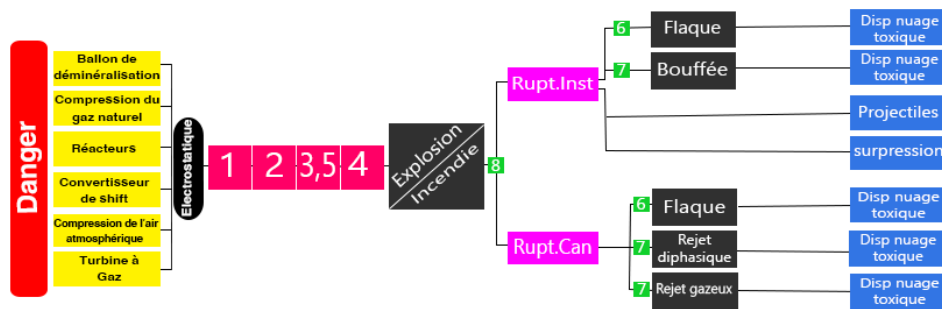
## **B. Objectif de l'approche nœud papillon**

Cet outil permet d'illustrer le résultat d'une analyse de risque simple ou détaillée (de type APR, AMDEC, HAZOP, What-if ou autres) et d'y superposer les barrières de sécurité (prévention et protection). Ainsi, c'est un outil grandement efficace pour communiquer les résultats d'une analyse des risques à diverses parties prenantes incluant le grand public et la haute direction des organisations ; deux groupes d'intervenants avec lesquels il est crucial de synthétiser et de vulgariser l'information à communiquer.

## **C. La prévention par la méthode de nœud de papillon**

Si on se place au centre du schéma (figures 42), la partie gauche du nœud représente l'identification des dangers, des causes possibles d'accident et des divers enchaînements ou combinaisons (flèches noires) d'événements pouvant engendrer l'accident non désiré (au centre). Par exemple, l'événement central peut être une perte de confinement d'une substance toxique, une explosion, une rupture de canalisation, un emballement de réaction, une brèche dans un réservoir, une décomposition d'une substance, etc. Entre ces causes possibles et l'accident, des barrières dites de prévention (rectangles) doivent être installées.

La partie droite du nœud représente les conséquences possibles de l'accident si l'événement central survient. Par exemple, lors de la rupture d'une canalisation ou d'une brèche dans un réservoir, il peut en résulter la formation d'une flaque ou d'un nuage. Entre cet accident et les récepteurs pouvant être affectés (ex. : employé, public, infrastructure, environnement, etc.), des barrières de protection doivent être installées pour réduire les effets sur ces récepteurs (ex. : un système de gicleurs). Donc, le nœud papillon reflète les scénarios d'accident qui peuvent survenir et les mesures prises pour les prévenir ou en réduire la probabilité ainsi que celles prises pour en réduire les conséquences. Il est question de barrières de prévention et de barrières de protection. Les barrières de protection abaissent le niveau de gravité des conséquences et celles de prévention abaissent la probabilité.



| Evènements initiateurs<br>Causes possibles  | Barrières de sécurité et<br>prévention  |  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Ballon de déminéralisation ;</li> <li>&gt; Compression du gaz naturel ;</li> <li>&gt; Réacteur ;</li> <li>&gt; Convertisseur de shift ;</li> <li>&gt; Compression de l'air atmosphérique ;</li> <li>&gt; Turbine à gaz ;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1- Mise à la terre ;</li> <li>2- Combinaison antistatique ;</li> <li>3- Contrôle ESD régulier ;</li> <li>4- Élément électrostatique entreposés hors potentiel ;</li> <li>5- Contrôle à intervalles régulier ;</li> </ul> |  |
| Evènements secondaires  | Barriere de protection  |  |
| Flaque ;  | Bassin de rétention (6)   | Procédures générales d'urgence (alerte, mobilisation, etc...)(8) |
| Bouffée ;   | Confinement de protection   | (7) (8)  |
| Rejet diphasique ;  | Dispositif d'extraction de traitement de gaz (7)  | (8)  |
| Rejet gazeux ;  | (7)   | (8)  |

Figure 43 : Représentation détaillée d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon avec la barrière de sécurité.

### 4.3.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé les risques liés à l'électricité statique dans les usines à travers trois méthodes différentes décrites ci-dessus.

Le principal résultat était de réduire les accidents catastrophiques causés par l'électricité statique, tels que les incendies et les explosions, en d'autres termes, de réduire la possibilité d'occurrence et de réduire les pertes dans le cas d'un tel événement, Le rôle principal de l'analyse des risques est d'assurer le flux de travail et de fournir une atmosphère axée sur la prévention et la sécurité pour tous les travailleurs et les machines produites.

## **Conclusion générale**

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

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

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

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



## Les références

### Bibliographies

- [1] L.LANDAU, E.LIFCHITZ, « Physique théorique », tome2 : théorie de champs, 5e édition, Ellipses, Paris, chapitre III, § 16. 1994.
- [2] PROF.Mohamed Mebrouki. EPST Tlemcen « Histoire de l'électricité statique ».
- [3] L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ; Électricité statique, N. BergerM. DenozièreJ.-C. GiletD. GuionnetH. Romat : ED 874.
- [4] Moore A. D. Electrostatics and its applications, John Wiley & Sons Inc., 1973.
- [5] Norme CEI 60243-1, « Rigidité diélectrique des matériaux isolants. Méthodes d'essai. Partie 1 : essais aux fréquences industrielles », 1998.
- [6] A. ANTON, « Matériaux isolants solides - Caractéristiques électriques », Techniques de l'Ingénieur, rubrique Matériaux à propriétés électriques et optiques, D2315, août 2003.
- [7] PAUL G.GUEST. Static electricity in nature and industry . Part 1.-general observations and experiments. Part 2.- Industrial hazards and safeguards
- [8] Static electricity, safety in industry. Mechanical and physical hazards NO.8
- [9] R. CHALLANDE Mesure et élimination de l'électricité statique nuisible .Eyrolles, Gauthier-Villars, 1973.
- [10] Site INRS - Prévention du risque lié à l'électricité statique.
- [11] STANDARD IEC 61340-5-1 Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General requirements 1998.
- [12] STANDARD EN 1149-1 Protective clothing – Electrostatic properties – Part 1: Test methods for measurement of surface resistivity 1996.
- [13] Ordre des ingénieurs du Québec, Présentation des principales méthodes d'identification des dangers et d'analyse des risques 2014.