



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE
SCIENTIFIQUE.



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine: Science et Technique

Filière: électromécanique

Spécialité: maintenance industrielle

LA ROBUSTESSE DU PROCESSUS DE LA
NEUTRALISATION DES CHARGES ELECTRIQUES.

Présenté et soutenu publiquement Par :

LEGMAIRI Ahmed Ayoub.

BOUKHALOUA Mohammed Sayeh.

Encadreur:

ROUAGDIA Karim.

Année universitaire: 2022/2023.

Remerciements

Nous remercions **Dieu**, tout puissant pour son aide et le courage qui nous a donné pour surmonter toutes les difficultés durant notre étude et la patience afin d'achever notre modeste travail.

Nos sincères remerciements s'adressent à notre encadreur **Dr. ROUAGDIA karim** pour l'aide qu'elle nous apportée dans la réalisation de ce travail, par sa disponibilité persistante, pour ses précieux conseils pour avoir rédigé ce travail avec une grande rigueur scientifiques, ses orientations, ses compétences, et sa gentillesse incomparable.

Nous remercions sincèrement les **membres du jury** pour leur gentillesse a accepter de faire partie du jury. Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous nos parents et amis qui sont parmi nous.

Merci à tous.

Dédicaces

En tout premier lieu, je remercie **le bon dieu**, tout puissant de m'avoir donné la force pour survivre et réussir.

Je dédie ce mémoire :

A mon cher papa.

Vous avez réalisé ce que vous vouliez pour moi. J'ai cueilli ta semence qui a poussé pour moi. Je sens et sais avec certitude que vous êtes devant moi, que Dieu ait pitié de votre âme pure

A ma chère maman.

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères et sœurs.

Pour leur soutien moral et leur présences toujours à mes côtés.

A toutes ma famille et mes amis.

Ayoub.

Sommaire

Sommaire	page
Remerciements	/
Dédicaces	/
Sommaire	/
Introduction	I
Chapitre I : Généralité	
I.1. Introduction	02
I.2. Polymère isolant	02
I.3. Classification des polymères	02
I.3.1. selon leur Origine	02
I.3.2. Selon types de polymères	03
I.3.3. Selon les propriétés	05
I.3.4. Selon l'importance économique	06
I.4. Amélioration des propriétés physico-chimique des polymères	06
I.4.1. Les additifs	06
I.4.2. Les charges	07
I.4.3. Les renforts	07
I.5. Avantages et inconvénients des polymères	07
I.6. Applications des polymères	07
I.7. Electrification des polymères isolants	09

Sommaire

I.7.1. Charge par effet triboélectrique	09
I.7.2. Charges par rouleau électrostatique	10
I.7.3. Charge par influence	10
I.7.4. Décharge couronne	11
I.7.4.2. Décharge couronne négative	12
I.7.4.3. Décharge couronne alternative	13
I.8. Propriétés des polymères solides	13
I.8.1. Propriétés physiques	13
I.8.2. Propriétés mécaniques	13
I.8.3. Propriétés thermiques	14
I.8.4. Propriétés électriques	14
I.8.5. Propriétés optiques	14
I.9. Les polymères biodégradables	15
I.9.1. Plastique biodégradables	15
I.9.2. Biodégradabilité	15
I.9.3. Biodégradation	15
I.9.4. Compostage	15
I.10. Conclusion	16
II. Chapitre	
II.1. Introduction	18

Sommaire

II.2. Classification des matériaux	18
II.2.1. Conducteur	18
II.2.2. Isolants	18
II.2.3. Semi-conducteurs	18
II.3. Electricité statique	19
II.4. Accumulation et dissipation des charges électrostatique	19
II.4.1 Cas des solides	20
II.4.2 Cas des matériaux granulaire	20
II.4.3. Cas des liquides	21
II.5. Les avantages et les inconvénients de l'électricité statique	22
II.6. Mesure de prévention contre les charges statiques résiduelles	22
II.6.1. Neutralisation par décharge couronne	22
II.6.2. Neutralisation atmosphérique	23
II.6.3. Neutralisation par augmentation de la conductivité	23
II.6.4. Neutralisation par augmentation d'humidité	24
II.6.5. Neutralisants statiques actifs	24
II.6.6. Neutralisants statiques passifs	25
II.6.7. Neutralisants statiques nucléaires	25
II.7. Conclusion	26
Chapitre III : L'approche de Taguchi	

Sommaire

III. Introduction	28
III.1. Historique de la méthode de TAGUCHI	28
III.1.A. Portrait du Docteur TAGUCHI	28
III.1.B. L'objectif	28
III.2. Principes fondamentaux de la méthode de Taguchi	29
III.3. Concepts de qualité et de perte	30
III.5. INTÉRÊTS D'UN PLAN D'EXPÉRIENCE TAGUCHI	32
III.6. Les matrices d'expériences fractionnaires Taguchi	32
III.7. Fonction de perte.	33
III.8. Ration signal-bruit(S/B)	34
III.9. ANALYSE DE VARIANCE OU ANOVA	35
III.10. Conclusion	37
Chapitre IV : Etude expérimentale	
IV.Introduction	36
IV.1.Procédure expérimentale	36
IV. 2. Etude de robustesse utilisant le plan d'expérience de Taguchi	33
IV. 2.1 Facteurs et Niveaux	34
IV.2.2 Méthodologie de Taguchi	35
IV. 2.3 Modélisation mathématique	37
IV. 3. Résultats et discussions	37

Sommaire

IV. 3.1 Modélisation	37
IV. 3.2 Le processus de robustes	38
IV.4.Conclusion	47
Conclusion	49
Références bibliographiques	/

Liste des figures

Numéro de la figure	Titre de la figure	Numéro de la page
I.1	Structure moléculaire d'un copolymère statistique.	03
I.2	Structure moléculaire d'un copolymère alterné.	03
I.3	Structure moléculaire d'un copolymère séquencé.	04
I.4	Structure moléculaire d'un copolymère greffé.	04
I.5	Effet triboélectrique.	09
I.6	Diélectrique charge avec un rouleau électrostatique.	10
I.7	Charge par influence.	10
I.8	Les différentes géométries dans le cas de décharge couronnent.	10
I.9	Décharge couronne positive.	11
I.10	Décharge couronne négative.	12
I.11	Décharge couronne alternative.	13
II.1	(a) Atome charge neutre (b) ion	19
II.2	Humidificateur à vapeur dans un conduit d'aération.	24
II.3	(a) charges entrainées par le champ. (b) charges entrainées par un flux d'air.	25
III. 1	Fonction perte de Taguchi.	33
III. 2	pertes dans le cas d'un échantillon.	34
IV .1	Dispositif expérimental pour l'étude de la neutralisation des polymères par décharge couronne.	37
IV. 2	Diagramme de probabilité normale des résidus.	42
IV. 3	Diagramme de la réponse observe vs prédite.	43
IV. 3	La valeur optimal des facteurs (contrôle, bruit) du taux	44

	de neutralisation.	
IV.4	Diagramme de surface de taux de neutralisation en fonction (a) tension V_n et fréquence f_n , (b) vitesses et distance D.	45
IV. 5.	Diagramme des rapports y en fonction de l'amplitude et la fréquence	46

Numéro de tableau	Titre de tableau	Numéro de La page
I.1	les domaines d'application des polymères	09
IV. 1	Facteurs de contrôles.	38
IV. 2	Facteurs de bruits.	38
IV. 3	Résultats des expériences.	41
IV. 4	Le rapport (S/N)	44

Liste des abréviations

PVC : le poly (chlorure de vinyle).

PVDF : le poly (fluorure de vinylidène).

PMMA : le poly (méthacrylate de méthyle).

PE : le polyéthylène.

PP : le polypropylène.

PTFE : le poly (tétrafluoréthylène).

PS : polystyrène.

PET : polyéthylène téréphtalate.

PA : polyamides.

Résumé

Les polymères isolants sont des matériaux largement utilisés dans des nombreuses applications en raison de leurs excellentes propriétés électriques, chimiques, physiques. Ces matériaux ont tendance à accumuler des charges électrostatiques sur leur surface, cette accumulation des charges néfastes peuvent mener des problèmes et des accidents désastreux. L'objectif de notre étude consiste à utiliser la méthode de **Taguchi** pour déterminer les paramètres optimaux du processus de la neutralisation des charges électriques résiduelles sur la surface des polymères isolants.

Abstract

Polymers are materials widely used in many applications due to their excellent electrical, chemical and physical properties. These materials tend to accumulate electrostatic charges on their surface; this accumulation of harmful charges can lead to disastrous problems and accidents.

The objective of our study consists in using the Taguchi method to determine the optimal parameters of the process of the neutralization of the residual electrical charges on the surface of the insulating polymers.

ملخص

البوليمرات العازلة هي مواد تُستخدم على نطاق واسع في العديد من التطبيقات بسبب خصائصها الكهربائية والكيميائية والفيزيائية الممتازة. تميل هذه المواد إلى تراكم الشحنات الكهروستاتيكية على سطحها ، وهذا التراكم من الشحنات الضارة يمكن أن يؤدي إلى مشاكل وحوادث كارثية

الهدف من دراستنا هو استخدام طريقة تاغوشي لتحديد المعلمات المثلى لعملية تحييد الشحنات الكهربائية المتبقية على سطح البوليمرات العازلة

Introduction générale

Les polymères isolants sont des matériaux largement utilisés dans l'industrie pour leur faible conductivité électrique et leur résistance à la chaleur et aux produits chimiques. Cependant, ces matériaux ont tendance à accumuler des charges électrostatiques sur leur surface, ce qui peut entraîner des problèmes et des dégâts.

Les techniques classiques de neutralisation des charges électriques peuvent être basées sur des hypothèses ou des expériences empiriques, ce qui peut conduire à des résultats moins précis. Ces techniques peuvent également être plus coûteuses et moins efficaces en termes de réduction de la variabilité et de l'optimisation des paramètres du processus.

En revanche, les méthodes statistiques peuvent avoir un impact significatif sur l'efficacité de la neutralisation des charges électriques par rapport aux techniques classiques. En utilisant des méthodes numériques statistiques telles que le plan d'expériences et Taguchi, il est possible de déterminer les paramètres optimaux du processus de neutralisation pour maximiser l'efficacité de la neutralisation. Cela permet de réduire la variabilité du processus et d'obtenir des performances plus stables et plus fiables.

Ce mémoire est réparti en quatre chapitres présentés comme suit :

Le premier chapitre présente une synthèse sur les polymères isolants, ainsi que différentes techniques d'électrisation, et différentes propriétés des polymères.

Dans le deuxième chapitre nous avons discuté la classification des matériaux, ensuite nous avons également vu comment les charges électrostatiques s'accumulent et se dissipent, ainsi les différentes techniques de neutralisation des charges électrostatiques.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté la méthode utilisée dans ce mémoire, il s'agit de la méthode de Taguchi. Cette méthode est l'un des outils de la qualité, Elle sert à mettre en évidence et à quantifier l'influence des paramètres pris en compte.

Le quatrième chapitre, présente une modélisation expérimentale sur la neutralisation des films de polypropylène en utilisant la méthode de Taguchi.

Chapitre I : généralité sur les polymères

I.1. Introduction

Un isolant est un matériau qui permet d'empêcher les échanges d'énergie entre deux systèmes. On distingue : les isolants électriques, les isolants thermiques, les isolants phoniques et les isolants mécaniques.

Les polymères et composites à matrice polymère sont aujourd'hui très largement répandus pour des fonctions d'isolation électrique et de stockage d'énergie dans le domaine de l'électrotechnique. Ils sont notamment pour des raisons liées à leurs qualités intrinsèques, à la variabilité des propriétés selon leur nature, aux conditions de mise en œuvre, aux évolutions des architectures des systèmes eux-mêmes et à des considérations économiques[1].

I.2. Polymère isolant

Le mot « polymère » vient du grec « poly » signifiant plusieurs et « meros » parties ou unités. En effet, un matériau macromoléculaire ou polymère est constitué de longues chaînes ou les unités de répétition sont toutes les mêmes (homopolymère) ou de nature différente (copolymère). La cohésion des atomes sur une même chaîne est assurée par des liaisons chimiques fortes, tandis que les liaisons inter chaînes sont plus faibles. La présence des liaisons faibles et fortes apporte aux matériaux polymères des propriétés physicochimiques particulières[1].

I.3. Classification des polymères

Classification selon :

I.3.1. Leur Origine :

i. Les polymères naturels :

On est entouré de polymères naturels, tels que la cellulose, le caoutchouc et les résines.

ii. Les polymères artificiels :

Dérivés des polymères naturels : nitrate, acétate de cellulose et ébonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre).

iii. Les polymères synthétiques :

Produits dans des réactions de polymérisation en chaîne ou de polycondensation.

I.3.2. Selon types de polymères :

Il existe deux types de polymères :

- a) Les homopolymères.
- b) Les copolymères.

a. Homopolymères :

Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité (monomères). Si seulement un type de monomère est utilisé, le polymère résultant est appelé un Homopolymère.

b. Copolymères :

Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. Comme pour les Homopolymères, les copolymères peuvent se présenter en plusieurs structures différentes qui sont les suivants:

○ Copolymères statistiques :

Ils sont caractérisés par l'alternance aléatoire des monomères A et B (figure I.1).

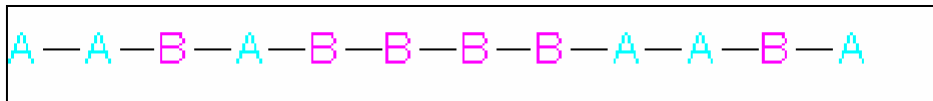


Figure. I.1: Structure moléculaire d'un copolymère statistique.

○ Copolymères alternés :

C'est un cas limite du copolymère statistique est le copolymère alterné qui est également un matériau homogène à une phase (figure I.2)

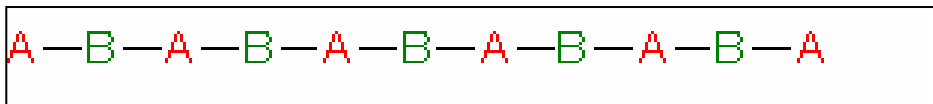


Figure. I.2: Structure moléculaire d'un copolymère alterné.

- **Copolymères séquencés :**

Ce sont des molécules linéaires ou radiales, constituées d'une alternance de longues Séquences homogènes (figure I.3).

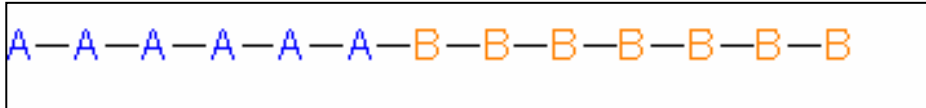


Figure. I.3: Structure moléculaire d'un copolymère séquencé.

- **Copolymères greffés:**

Les copolymères greffés sont des copolymères dans lesquels les branches ont une structure chimique différente de celle de la chaîne principale (figure I.4)

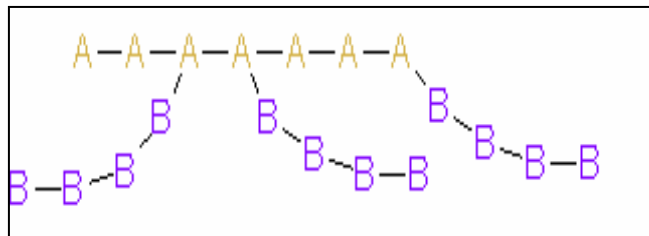


Figure. I.4: Structure moléculaire d'un copolymère greffé.

Parmi ces différents types de polymères, on peut trouver des polymères polaires et d'autres non polaires.

Les polymères polaires :

Les polymères polaires sont généralement des matériaux isolants possèdent dans leur Molécules en plus du carbone et de l'hydrogène, des atomes généralement électronégatifs tels que : le fluor, le chlore, l'oxygène, l'azote, qui fournissent des dipôles. Ils ont à un degré plus Ou moins grand, une permittivité élevée (3,5 à 10) et un indice de pertes élevé de 10-2 à 10.

Parmi ces polymères on peut citer :

- Le poly (chlorure de vinyle) PVC.
- Le poly (fluorure de vinylidène) PVDF.
- Le poly (méthacrylate de méthyle) PMMA.
- Les polycondensats tels que : les polyamides, les polyptères.

- Les polymères apolaires

Contrairement aux polymères polaires, ces polymères présentent un indice de pertes diélectriques faibles, de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-3} et une permittivité quasi constante (2,5 à 3) dans un large domaine de température et de fréquence. Leur formule chimique ne contient que du carbone et de l'hydrogène et s'ils contiennent des atomes électronégatifs tels que le fluor, ces atomes sont placés symétriquement le long de la chaîne carbonée.

Parmi ces polymères on peut citer :

- Le polyéthylène PE.
- Le polypropylène PP.
- Le poly (tétrafluoréthylène) PTFE.

I.3.3. Selon les propriétés :

Une des propriétés mises en cause est l'influence d'une élévation de température. Une autre est le comportement élastique. Il en résulte qu'on distingue trois grandes familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

- **Les thermoplastiques :**

Sont malléables et fusibles à températures élevée. Les plus courant sont le polyéthylène, le plexiglas, les textiles de type nylon. Chauffés, ces plastiques fondent, se vaporisent et brûlent.

- **Les thermodurcissables :**

Se solidifient à température élevée et gardent leur forme lorsque celle-ci décroît. Les plus utilisés sont le polyuréthane, les résines phénoliques. Exposé à la chaleur, ces plastiques, ne fondent pas ; ils se décomposent en dégageant des produits volatiles accompagnés de résidus carbonisés.

- **Les élastomères :**

Ils comprennent, le caoutchouc naturel, le caoutchouc synthétique et le caoutchouc de silicones. Tous doivent subir dans leur préparation une vulcanisation qui a pour but de diminuer leur plasticité et d'augmenter leur élasticité. Les caoutchoucs synthétiques sont en général plus résistants au vieillissement et plus imperméables aux gaz et à la vapeur d'eau. Ils résistent mieux aux solvants et leur composition est plus constante.

I.3.4. Selon l'importance économique :

Pour les polymères comme pour tout produit industriel, il existe une corrélation entre le tonnage et le prix. Ceci permet de distinguer trois grandes catégories de polymères commerciaux.

Les polymères de grande diffusion, dont le volume des ventes et de production est élevé et dont le prix est faible. Exemples : Polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polystyrène (PS), polychlorure de vinyle (PVC). Les polymères à hautes performances, dont le volume des ventes est le plus faible et les prix les plus élevés.

Les polymères techniques, dont le volume et le prix sont intermédiaires entre les deux catégories précédentes. Exemples : polyamides (PA), polyéthylène téréphtalate (PET).

I.4. Amélioration des propriétés physico-chimique des polymères :

La charge monomère est polymérisée pour former un polymère, divers composés peuvent être introduits dans le polymère pour améliorer les propriétés physiques et chimiques (sa résistance aux flammes, sa coulabilité et sa résistance au choc) du matériau et faciliter sa mise en œuvre. S'il entre dans une proportion inférieure à 10 % du produit on les qualifie d'additifs, sinon on les appelle adjuvants [3].

I.4.1. Les additifs :

Ils peuvent être des chaînes courtes de polymères, des oligomères ou de petites molécules. Le produit obtenu est un polymère. Parmi les additifs utilisés on distingue :

- Les plastifiants.
- Les antioxydants.
- Les stabilisants.
- Thermiques.
- Stabilisants U.V.
- Antistatiques
- Les pigments.
- Agent démoulant, lubrifiants.
- Les fongicides.

I.4.2. Les charges

Ce sont des éléments organiques et inorganiques d'environ 10 microns que l'on ajoute. Il n'y a pas d'interactions entre charges et polymères. Les charges n'ont donc pas d'effet spécifique sur les propriétés du produit final que l'on appelle alors un polymère chargé.

- Les charges organiques
- Les charges inorganiques.

I.4.3. Les renforts

Se sont des particules d'environ 50 microns de diamètre, ajoutés aux polymères pour optimiser ces propriétés (surtout mécanique). Ces derniers interagissent avec les polymères originaux. Le produit obtenu est un composite, comme les fibres de verre[4].

I.5. Avantages et inconvénients des polymères :

AVANTAGE :

- Basse densité.
- En faisant varier les liaisons des atomes de carbone, on peut une variété infinie de matière plastique.
- Généralement inertes.
- facilité de mise en forme et de moulage.
- bon isolant thermique.

INCONVENIENT :

- Détérioration par UV.
- Sensible à la température.
- mou (bas module d'élasticité).
- Susceptible au feu.
- matière première limitée.

I.6. Applications des polymères :

Le tableau suivant récapitule les différents types des polymères isolants et leurs domaines d'utilisation [5].

Tableau. I.1 les domaines d'application des polymères

Domaines d'utilisation	Exemples	Type de plastique
Le secteur de la construction	Les portes, conduites d'eau et l'assainissement, peinture des murs des planchers et des plafonds, revêtement du sol.	PVC
Industrie de l'emballage	Bouteilles, pots de yaourt, boîtes aux lettres, Problème thermique, gainage films vidéo.	PEHD
Médecine et santé	Poches de sang, gants, lentilles, verres de lunettes, les organes artificiels, Seringues, industrie dentaire, prothèses, outils de chirurgie.	PS
Articles ménagers	Tupperware, potelles, beaux, vaisselle.	LDPE
Matériel électrique et électronique	isolation, laveuses, ordinateurs et les caméras, Radio et télévision, téléphone.	PS
Industrie automobile	Système vitre claire, Tapie, carrosserie, optiques, planches de bord, habillage intérieur, Façades de téléviseurs, gainage de câbles.	PET, PVC
Industries textile	Vêtement, fibres textiles naturelles et synthétiques, sacs, skaï, similicuir, non-tissés.	PET
Sports et loisir	Gazon artificiel, DVD, bandes magnétiques, Files de pêche et les cordons utilisés, piscines, coques de bateaux.	PET , PVC, PS
Le domaine alimentaire	Procédés de fabrication d'aliments, emballages (bouteilles, pots de yaourt, briques de lait, boites à oeufs) ou industriel (flacons de détergent, sachets et sacs,	PS

	casiers)...	
Le matériel de maison	Meuble, vaisselle, accessoires, fenêtres et portes.	PVC

I.7. Electrification des polymères isolants

I.7.1. Charge par effet triboélectrique

L'effet triboélectrique est en général associé à l'apparition de charges électriques après frottement entre deux matériaux ; sa définition s'étend souvent aux transferts de charges par contact.

Le frottement impliquant des contacts suivis de séparations, il améliore les conditions de charge. Lorsque deux matériaux différents et électriquement neutres entrent en contact, il y a un transfert de charges qui aboutit à l'obtention de deux matériaux chargés, l'un positivement et l'autre négativement. Si l'un des matériaux présente une conductivité faible, les charges ainsi générées resteront après séparation.

La charge transférée augmente généralement avec la surface du contact, la pression entre les deux matériaux en contact ainsi qu'avec la vitesse du frottement ; elle diminue avec la rugosité des surfaces de contact.

La charge par effet triboélectrique s'accompagne de génération de chaleur et parfois de transfert de masse. La reproductibilité de la charge est très difficile à obtenir par ce mécanisme [6].

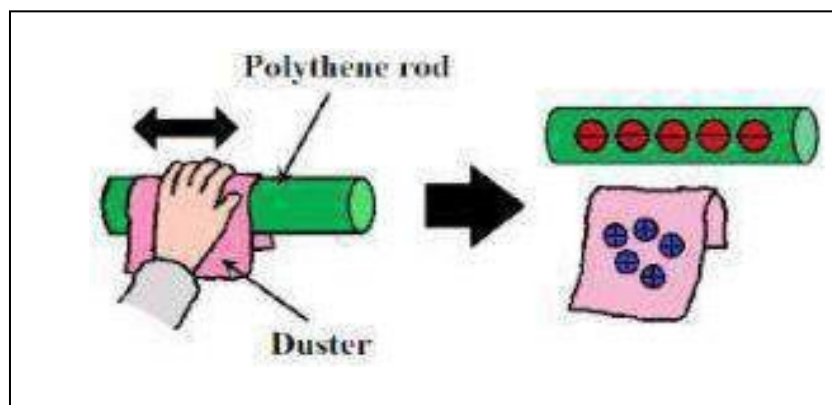


Figure I.5 : Effet triboélectrique.

I.7.2. Charges par rouleau électrostatique

Le contact entre deux matériaux est en fait suffisant pour produire un phénomène d'électrisation. Un diélectrique peut être aussi chargé avec un rouleau électrostatique en contact avec la surface libre de l'échantillon et dont le potentiel de charge est aussi contrôlé par la source.

Le transfert de charge au contact entre le rouleau et la surface du diélectrique est très probablement de type électronique. La charge séparée résulte des différences dans la structure électronique des deux corps en contact; elle est influencée tout d'abord par la nature des matériaux et par les traitements subis par leurs surfaces [6].

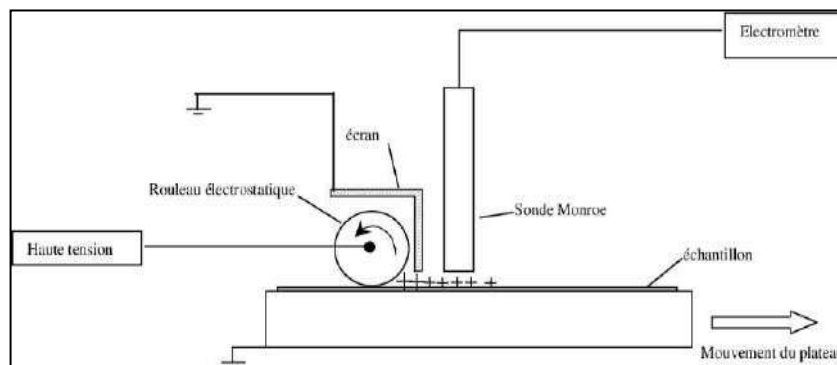


Figure I.6: Diélectrique chargé avec un rouleau électrostatique.

I.7.3. Charge par influence

L'électrisation par influence (induction) consiste à approcher un matériau électrisé d'un autre, mais sans contact. Les charges à l'intérieur du matériau approché s'orientent et/ou se déplacent, même s'il est globalement neutre électriquement. Il y a attraction entre les charges électriques différentes (+ et -) et répulsion entre charges de même signe (+ et +, ou - et -), par interaction électrostatique (loi de Coulomb) [6].

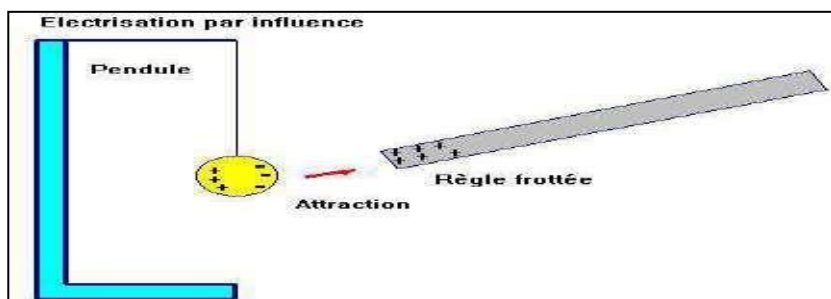


Figure I.8 : Charge par influence.

I.7.4. Décharge couronne

La décharge couronne est le moyen le plus simple et le plus fiable. Elle nous donne la possibilité de déposer des charges soit positives ou négatives selon la polarité du système de décharge. Nous allons présenter dans le cas de décharge couronne le processus physique qui conduisent à la production d'espaces réactives et à leur dispersion. Ces phénomènes qui ont largement été décrit pour des géométries pointe-plan, peuvent être généralisés à la configuration fil-plan, fil-cylindre, pointe-plan, plan-plan[6].

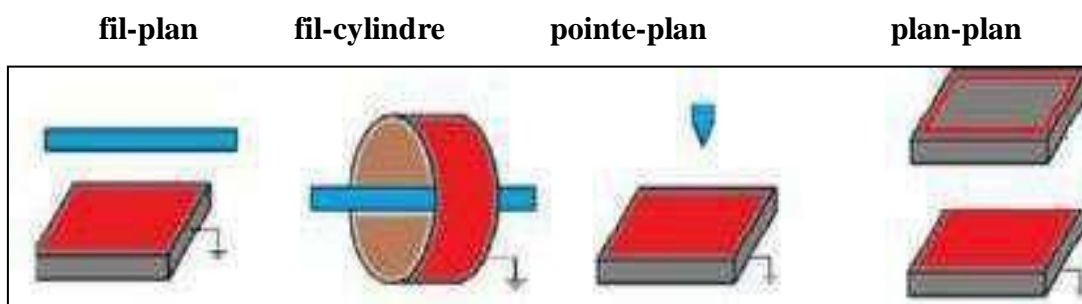


Figure I.7: Les différentes géométries dans le cas de décharge couronne.

I.7.4.1. Décharge couronne positive

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

Cette zone unipolaire, puisqu'il n'y a que des ions positifs, est appelée région de « dérive »

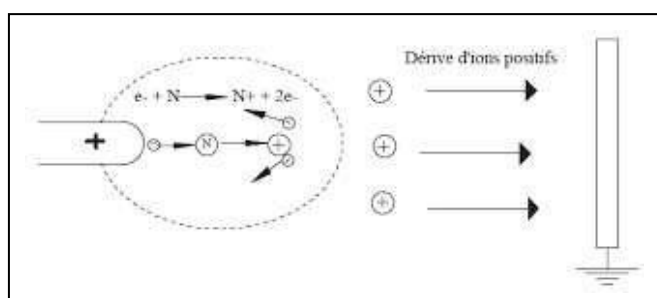


Figure I.9 : Décharge couronne positive.

I.7.4.2. Décharge couronne négative

La pointe constitue l'électrode à polarité négative reliée à une source HT et l'isolant dont la face arrière métallisée est mise à la masse, est positionné sous la pointe. Ceci permet d'une part de générer des champs électriques intenses au niveau de la pointe, d'autre part, le lieu de génération est limité au voisinage de la pointe, le risque de claquage est moindre. Par conséquent, des avalanches électroniques ont lieu près de la pointe.

Les électrons créés arrivent dans une région où le champ est plus faible. Ils n'ont plus assez d'énergie et sont captés par les atomes ou les molécules neutres du milieu. Ils constituent ainsi une charge d'espace composée d'ions négatifs.

Sous l'influence du champ, les ions sont balayés vers la surface de l'isolant à travers une grille répartitrice. Cette dernière, permet de répartir la charge uniformément sur la surface de l'isolant. Plus on transfère de charge à la surface de l'isolant, plus la différence de potentiel entre la sonde électrostatique et la surface de l'isolant augmente.

Le transfert de charge sur la surface du matériau isolant est généralement réglable soit par la distance entre la pointe et la surface de l'isolant ou par la variation de la tension de la pointe (notre cas). Par ailleurs, nous pouvons fixer un potentiel sur la grille répartitrice qui imposera donc la valeur initiale du potentiel présent sur le matériau. Le champ électrique près de la pointe est directement proportionnel à cette distance.

L'intérêt de la configuration pointe / plan est double premièrement, elle permet de générer des champs électriques très intenses au niveau de la pointe (plusieurs Mv/cm), pour des tensions modérées (quelque Kv). Deuxièmement, étant donné que la région de champ intense est localisée près de la pointe le lieu de génération des porteurs de charge est limité au voisinage de la pointe. Le risque de claquage est moindre. A partir de ce principe nous allons utiliser la répartition de charges sur la surface du matériau isolant pour passer ensuite à la phase de mesure à l'aide d'un voltmètre électrostatique [6].

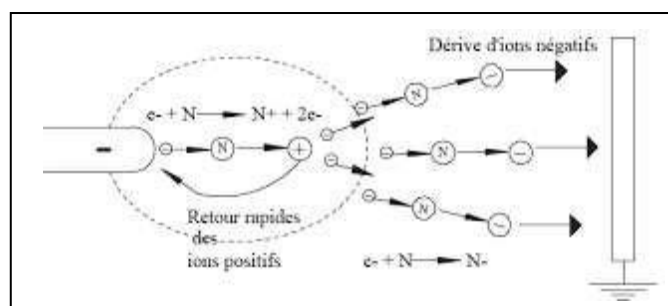


Figure I.10 : Décharge couronne négative

I.7.4.3. Décharge couronne alternative

Effet de couronne en tension alternative l'effet de couronne en tension alternative est la synthèse des deux polarités. Néanmoins, c'est l'apparence lumineuse de l'alternance positive (streamers) qui prédomine. L'application d'une tension de valeur suffisante pour créer un seuil de décharge couronne, entraîne une répartition de l'espace inter-électrodes en deux régions.

La première région voisine de l'électrode à faible rayon de courbure où le champ électrique est intense, elle est le siège d'ionisation du gaz, c'est la zone active. Les électrons libres sont accélérés par le champ électrique provoquant ainsi des collisions avec des atomes neutres ou des molécules; il y a alors multiplication électronique par avalanche.

Le reste de l'espace inter-électrodes constitue la deuxième région où le champ électrique est faible, c'est la zone de dérive. Dans cette zone, les électrons ne peuvent pas se multiplier, les ions créés par collisions dérivent vers l'électrode plane (ou à grand rayon de courbure) sous l'effet du faible champ en constituant ainsi une charge spatiale mono polaire[8].

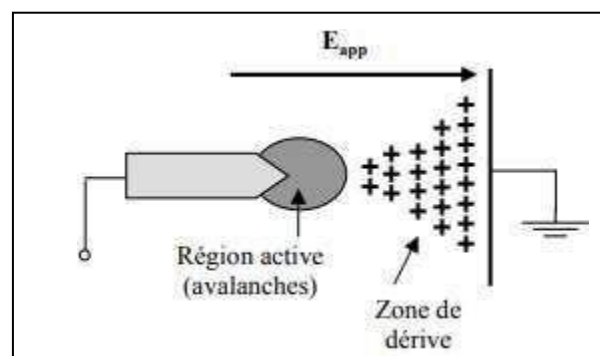


Figure I.11 : Décharge couronne alternative

I.8. Propriétés des polymères solides

I.8.1. Propriétés physiques

C'est elle qui mesurent le comportement des matériaux soumis à l'action de la température, des champs magnétiques ou électriques ou de la lumière. Ce sont la couleur, la masse volumique, la température de ramollissement, la rigidité et les propriétés électriques [9].

I.8.2. Propriétés mécaniques

Qui décrivent le comportement des matériaux soumis à des sollicitations telles que des pressions, des étirements, des torsions, des frottements, des chocs ou sous l'effet de la pesanteur. Elles dépendent du type de contraintes appliquées.

La résistance thermique d'une matière plastique se caractérise par la température de résistance à la déformation et la température d'utilisation continue d'où on obtient une dilatation des fibres de bordures de 0,2% sous une certaine contrainte de flexion [9].

I.8.3. Propriétés thermiques

La température de transition vitreuse "Tg" et la température de fusion "Tf" sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères. La température de transition vitreuse est partiellement importante pour les polymères Amorphes, notamment les thermoplastiques amorphes, pour lesquels, il n'existe aucune force De cohésion importante autre que l'enchevêtrement. Les températures caractéristiques d'un seul et même matériau peuvent alors être classées de la Façon suivante :

Température de transition vitreuse < Température de cristallisation < Température de Fusion < Température de décomposition thermique.

Selon la température à laquelle il est soumis, un matériau polymère peut présenter des Comportements mécaniques différents. Ceci peut se produire pour les thermoplastiques semi Cristallins dans un domaine même étroit de la température [10].

I.8.4. Propriétés électriques

Les propriétés électriques peuvent être nettement affectées par la reprise d'humidité; sa résistance à l'arc est excellente et électrostatique, ce qui peut nuire à sa présentation (attraction de poussière), on peut pallier cet inconvénient en utilisant des produits Antistatiques.

I.8.5. Propriétés optiques

Les polymères sont largement utilisés comme isolants électriques, en particulier dans les circuits électroniques et les gaines de câbles électriques. Il existe aussi des polymères conducteurs, soit à l'état intrinsèque, soit parce qu'ils sont chargés de particules de carbone conductrice.

Certaines molécules de polymères, rigides et allongées, sont susceptibles de s'orienter sous l'effet d'un champ électrique. Cet effet est utilisé dans des dispositifs d'affichage comportant des polymères de structure cristal-liquide (voir plus loin, et voir le dossier: les affichages par cristaux liquides). Lorsque le champ n'est pas appliqué, les molécules sont en désordre local, le matériau est opaque et d'apparence laiteuse.

Lorsque le champ est appliqué, les molécules s'orientent dans la même direction et laissent passer la lumière. Le matériau devient transparent [11].

I.9. Les polymères biodégradables

I.9.1. Plastique biodégradable

C'est un matériau formé par des polymères qui peut être dirigé par des microorganismes sous l'action des enzymes. Il peut être obtenu à partir de la pétrochimie, de ressources renouvelables.

Certains plastiques biodégradables sont qualifiés de bioplastiques car ils sont composés de bio polymère qui provient directement de matières premières renouvelables et totalement biodégradables.

Le plastique peut être considéré comme biodégradable s'il respecte plusieurs normes telles que le NFEN13 432. Un matériau est dit « biodégradable » doit être assimilable à au moins 90% par les microorganismes en un temps donné, le résultat ultime de cette assimilation étant la production de d'eau.

Les plastiques oxo dégradables ne sont pas biodégradables mais plutôt dégradables [12].

I.9.2. Biodégradabilité

Selon la biodégradabilité est la capacité intrinsèque d'un matériau à être dégradé par une attaque microbienne, pour simplifier progressivement sa structure et finalement se convertir facilement en eau, CO₂ et /ou CH₄ et une nouvelle biomasse.

I.9.3. Biodégradation

C'est la décomposition en composée de faible poids moléculaire (CO₂ ou H₂O) par l'action des microorganismes (bactéries, champignons, algues) et des stimuli chimiques et physiques (lumière, eau, oxygène, chaleur) dans l'environnement sans laisser des résidus persistants et toxiques. Elle se compose en deux phases : la première est la fragmentation (détérioration physico-chimique ou biologique) en de nombreuses entités beaucoup plus petites et la deuxième est la bio assimilation de ces fragments par des microorganismes. La température et l'humidité jouent un rôle très important dans le processus de biodégradation [12].

I.9.4. Compostage

C'est un procédé de mélange de déchets organiques en fin de vie. Ces matériaux vont se biodégrader pour donner un produit sain et stable. Les substances nutritives contenues dans le composé peuvent être réutilisées par les plantes [12].

I.10. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter la définition des polymères, l'histoire et leur structures et classification ainsi les domaines d'application, nous avons aussi présenté les différentes techniques d'électrification, ainsi des différentes propriétés physiques, mécaniques et électriques.

Chapitre II :
Electricité statique
et les techniques de
neutralisation

II.1. Introduction

L'électricité statique est un phénomène qui est connu depuis très longtemps, avant tout est connue au quotidien comme un phénomène parasite (étincelles, vêtements qui collent à la peau, cheveux « électriques ») mais est aussi utilisée dans de nombreux procédés : photocopie, peinture, dépoussiérage. Directement liée à la structure atomique de la matière, elle se crée spontanément, dans certaines conditions, au cours des opérations de fabrication ou de manutention.

L'intérêt qui lui est porté est directement lié à l'utilisation, dans divers domaines, de matières plastiques isolantes qui ont une aptitude marquée à l'accumulation des charges électriques. Invisible, discrète, l'électricité statique se manifeste souvent d'une façon anodine, mais toujours insidieuse.

II.2. Classification des matériaux

Les matériaux solides peuvent être classés en trois groupes que sont : les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs.

II.2.1. Conducteur

Un conducteur est un matériau qui conduit aisément le courant électrique. Les meilleurs conducteurs sont des matériaux constitués d'un seul élément comme le cuivre, l'argent, l'or et l'aluminium, ces éléments étant caractérisés par un seul électron de valence faiblement lié à l'atome. Ces électrons de valence peu retenus peuvent facilement se détacher de leurs atomes.

II.2.2. Isolants

Un isolant est un matériau qui ne conduit pas le courant électrique sous des conditions normales. La plupart des bons isolants sont des matériaux composés de plusieurs éléments, contrairement aux conducteurs. Les électrons de valence sont solidement rattachés aux atomes, laissant très peu d'électrons libres de se déplacer dans un isolant.

II.2.3. Semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un matériau se situant entre le conducteur et l'isolant. Un semi-conducteur à l'état pur (intrinsèque) n'est pas un bon conducteur ni un bon isolant. Les éléments uniques les plus utilisés pour les semi-conducteurs sont le Silicium, le Germanium et le carbone.

II.3. Electricité statique

L'électricité statique est une charge électrique stationnaire. Tous les matériaux sont composés d'atomes. L'atome est la plus petite partie d'un matériau contenant les mêmes propriétés que ce matériau. Chaque atome est composé d'un noyau positif chargé autour duquel gravitent un ou plusieurs électrons négatifs. Au repos, le noyau positif chargé équivaut à la somme des charges négatives des électrons qui gravitent autour de lui. La charge est donc neutre (figure I.1 (a)). 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 » (figure I.1 (b)). Il existe deux types de charge uniquement : positive et négative. Les charges similaires se repoussent et les charges opposées s'attirent[13].

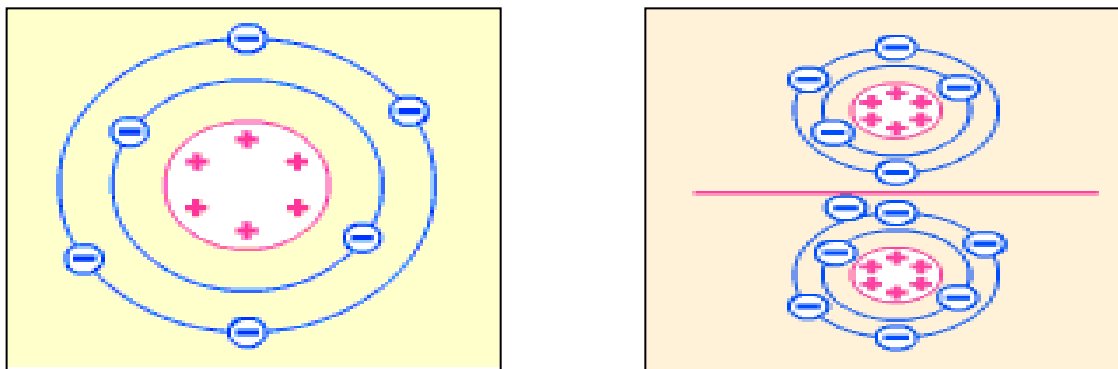


Figure II.1

(a) Atome charge neutre

(b) ion

II.4. Accumulation et dissipation des charges électrostatiques

Pour éviter toute accumulation dangereuse de charges, il y a lieu de réduire leur apparition et le cas échéant de favoriser leur dissipation, à noter qu'il ne peut y avoir accumulation de charges que si le taux de génération est supérieur à celui de dissipation. Un phénomène pour lequel les deux taux sont égaux n'engendre donc pas d'accumulation. L'étude de l'accumulation et de la dissipation des charges électriques peut souvent être ramenée à celle d'un condensateur.

En effet deux grandes surfaces portées à des potentiels différents et séparées par de l'air seront assimilées aux deux armatures d'un condensateur. Il en est de même pour une personne (le corps humain se comporte comme un conducteur) qui peut être assimilée à la première armature d'un condensateur dont le diélectrique serait constitué par les chaussures et le revêtement du sol sur lequel elles reposent ; la seconde armature est représentée par le sol supposé sans résistance. Tout condensateur chargé, s'il n'est pas alimenté, perd régulièrement sa charge. Le milieu diélectrique qui sépare les armatures n'étant pas totalement isolant, l'environnement extérieur des armatures ne l'est pas non plus. La charge électrique du condensateur décroît donc au fur et à mesure que le temps s'écoule. Il en est de même des corps électrisés. Les mécanismes d'accumulation et de dissipation des charges sont différents suivants que l'on a affaire à des solides, des matériaux granulaires, des liquides ou des gaz[13].

II.4.1 Cas des solides

Les mécanismes de contact-séparation et de frottement sont à l'origine de la majeure partie des phénomènes d'accumulation de charges électriques sur des surfaces. Il y a accumulation lorsqu'au moins une des surfaces est isolante. En effet, deux surfaces conductrices et reliées à la terre, qui produisent par frottement des charges électriques, les évacuent aussi rapidement qu'elles les créent.

D'autres mécanismes sont aussi à l'origine de l'accumulation de charge, c'est le cas par exemple lorsqu'un conducteur isolé est soumis au champ généré par une installation produisant des charges, alors on parle de charge par influence.

La résistance superficielle est une grandeur importante pour caractériser la dissipation des charges de la surface considérée. Plus cette résistance est importante, plus les charges auront des difficultés à migrer vers un point à la terre, plus elles s'accumuleront et plus elles auront tendance à créer des décharges de surface très énergétiques [14].

II.4.2 Cas des matériaux granulaires

Les matériaux granulaires en écoulement ont un comportement qui s'apparente à celui d'un fluide isolant. C'est le choc des particules entre elles ou sur la paroi des équipements qui génère des charges électriques dans le milieu (création par contact-séparation). Le temps de relaxation (ou de dissipation) joue un rôle important, plus ce temps est faible, plus les charges se dissipent rapidement.

Chapitre II **Electricité statique et les techniques de neutralisation**

Pour réduire les charges électrostatiques, il est possible d'agir, soit sur leur génération, soit sur leur dissipation. Concernant la génération, il est possible d'agir sur la vitesse ou le débit des produits. Dans le transport mécanique de produits par exemple, il existe des limites de vitesse/débit en fonction des produits pour minimiser la génération de charge.

Lorsque pour des raisons techniques, on ne peut intervenir sur la vitesse ou le débit des poudres ou des granulés, il est possible dans certain cas, d'agir sur l'humidité du matériau ou alors en faisant intervenir des agents antistatiques. En effet, l'eau ou l'agent antistatique rend conducteur le milieu granulaire et la charge accumulée peut donc se dissiper plus rapidement. Ce procédé n'est pas toujours applicable car tous les matériaux ne supportent pas la présence d'eau et on ne peut pas toujours ajouter un additif antistatique [14].

Les principaux facteurs intervenant dans l'accumulation des charges lors des opérations de fabrication, de transport et de stockage de poudres sont :

- La composition chimique et les caractéristiques physiques des matériaux.
- La teneur en humidité.
- La structure et la nature des parois de l'équipement.
- La taille des particules.
- La concentration du nuage de poussières dans l'atmosphère.
- La vitesse des particules.
- La présence ou pas de turbulence.

II.4.3. Cas des liquides

La conductivité des liquides est un facteur important. Elle s'exprime en pico siemens par mètre (pS/m). Dans la norme UTE C 23-597, les liquides sont classés selon leur conductivité de la façon suivante :

- conductivité élevée.
- conductivité moyenne.
- conductivité faible.

Les liquides qui donneront naissance à des phénomènes d'électrisation lors d'un écoulement sont ceux qui ont un temps de relaxation important (liquides qui ont des difficultés à retrouver rapidement un état électrique neutre).

Plus le liquide est isolant, plus les charges qu'il contient ont des difficultés à se mouvoir, plus son temps de relaxation est important et donc plus les phénomènes d'électrisation ont de chance de se produire.

Pour les liquides de conductivité faible, la densité volumique de charge transportée augmente avec la longueur de la conduite. À partir d'une certaine longueur, cette valeur devient stationnaire. En pratique, pour les vitesses qui varient de 1 à 10 m/s, on obtient des densités volumiques de charge comprises entre $5 \mu\text{C}/\text{m}^3$ et $50 \mu\text{C}/\text{m}^3$.

En régime turbulent forts débits, la densité volumique de charge électrique est toujours plus élevée qu'en régime laminaire. Précisons que les filtres et les valves que l'on rencontre dans une conduite, génèrent des charges électriques importantes, du fait de la turbulence des écoulements qui règne dans ces zones.

II.5. Les avantages et les inconvénients de l'électricité statique

La charge statique a été essayée par de nombreux scientifiques et inventeurs. Des machines encombrantes ont été créées, dont l'utilité était faible. La découverte de la décharge corona par les scientifiques s'est avérée utile. Il est largement utilisé dans l'industrie. La charge électrostatique est utilisée pour peindre des surfaces complexes et pour purifier les gaz des impuretés. Tout cela est bien, mais les problèmes sont nombreux. Les chocs électriques peuvent être très puissants. Ils peuvent parfois frapper les gens. Cela peut se produire à la maison ou sur le lieu de travail.

Les dommages causés par l'électricité statique se présentent sous la forme de chocs plus ou moins importants lorsqu'on enlève un cavalier synthétique, qu'on sort d'une voiture, qu'on allume et éteint un robot ménager et un aspirateur, un ordinateur portable et un four à micro-ondes.

II.6. Mesure de prévention contre les charges statiques résiduelles

II.6.1. Neutralisation par décharge couronne

La neutralisation des charges statiques par décharge couronne (ou couronne de décharge) est un processus utilisé pour éliminer les charges électrostatiques accumulées sur un objet. Les charges électrostatiques peuvent être générées lorsqu'un objet se frotte contre un autre, ou lorsqu'il est exposé à des champs électriques ou magnétiques. Ces charges électrostatiques peuvent causer des problèmes tels que des décharges électriques, des interférences électromagnétiques et des problèmes de fiabilité des équipements électroniques.

La décharge couronne est un processus qui implique la création d'un champ électrique très élevé autour d'un objet. Ce champ électrique peut ioniser l'air environnant, créant ainsi des ions positifs et négatifs. Les ions se déplacent vers la surface de l'objet chargé, entraînant une neutralisation des charges électrostatiques accumulées [15] [16].

II.6.2. Neutralisation atmosphérique :

Une humidité relative de l'air, voisine de 70 %, empêche souvent les charges électrostatiques de prendre naissance. Cette propriété est due à la très mince pellicule d'eau suffisamment conductrice qui se forme à la surface des corps non hydrofuges et non pas à une diminution de la rigidité diélectrique de l'air. Cette humidité relative de l'air augmente également la conductibilité de produits absorbants, tels que le papier, le coton, la laine, etc.

Lorsque les opérations de fabrication ou de manutention le permettent, l'humidification de l'atmosphère s'avère une mesure fiable pour prévenir les risques ou les inconvénients liés à l'accumulation de charges électriques. Dans un volume limité à quelques mètres cubes, un récipient quelconque rempli d'eau, disposé sur un appareil de chauffage, suffit en général pour obtenir l'effet désiré.

Toutefois, dans certains cas particuliers il est recommandé de contrôler la teneur en humidité de l'air ambiant au moyen d'un dispositif avertisseur automatique et de signaler que celle-ci atteint le niveau inférieur admissible propre au matériau.

Il faut remarquer qu'au cas où des étincelles se produiraient malgré les mesures prises, à partir d'isolants chargés, leur énergie serait accrue par suite, précisément, d'une diminution de la résistivité superficielle de ces isolants.

II.6.3. Neutralisation par augmentation de la conductivité

La façon la plus simple pour éliminer une charge à la surface d'un isolant est d'augmenter la conductivité de l'isolant. Quand c'est possible, la conductivité surfacique de l'isolant est augmentée par l'ajout d'une couche conductrice. Le matériau peut être couvert par un autre matériau pulvérisé afin de créer une voie de faible résistivité vers la masse. Un exemple est celui des vêtements spéciaux des ouvriers intervenant sur les lignes de fabrication des composants microélectroniques. Cette méthode est cependant inefficace et inexploitable lorsque le matériau isolant, susceptible d'être chargé, doit conserver ses caractéristiques ou lorsque le volume d'air ou la surface à contrôler sont assez grands, tel est le cas des usines à semi-conducteurs.

II.6.4. Neutralisation par augmentation d'humidité

L'humidification est le processus par lequel l'humidité relative dans une zone de travail est augmentée pour empêcher l'accumulation de charges statiques sur les matériaux non conducteurs. L'humidification est la plus efficace pour contrôler l'accumulation d'électricité statique lorsque des matériaux isolants, tels que le papier, le bois et le textile, sont utilisés dans les procédés. Ces matériaux sont généralement des isolants, ils peuvent développer des charges statiques à travers le traitement et la manipulation de routine. En augmentant l'humidité relative, les surfaces des matériaux deviennent humides. Cette humidité augmente la conductivité de surface, permettant à la charge statique de se dissiper librement. Pour être efficace, le niveau d'humidité doit être élevé à au moins 60% ou plus

L'augmentation de l'humidité relative de l'air de 45 à 60% peut considérablement réduire la charge lorsque les taux de séparation de surface sont relativement faibles et les surfaces ont le temps de s'équilibrer avec l'humidité cette augmentation peut augmenter la quantité de film d'eau sur les solides non conducteurs.

L'humidification n'est pas efficace pour contrôler l'électricité statique sur les matériaux avec teneur élevée en hydrocarbures, en raison de l'incapacité des hydrocarbures à absorber l'eau [12].

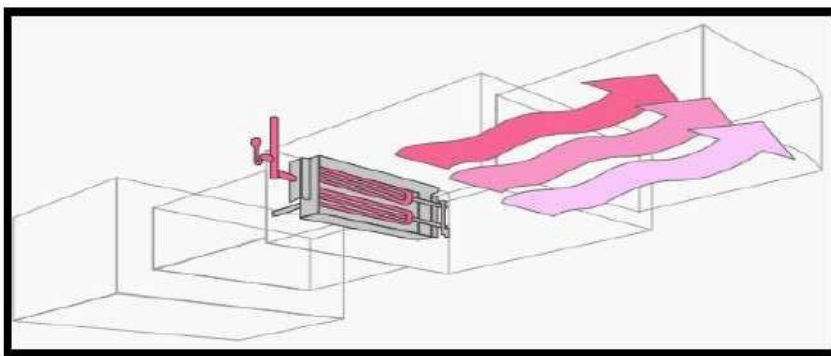


Figure II.2 Humidificateur à vapeur dans un conduit d'aération.

II.6.5. Neutralisants statiques actifs

Les ioniseurs actifs utilisent une source de haute tension extérieure pour la création des charges. Dans cette catégorie on distingue deux types de neutralisateurs statiques : ceux qui

utilisent le champ électrique pour entrainer le nuage ionique de l'électrode ionisante vers la surface cible, et ceux qui utilisent un flux de gaz (de l'air) pour entrainer les charges.

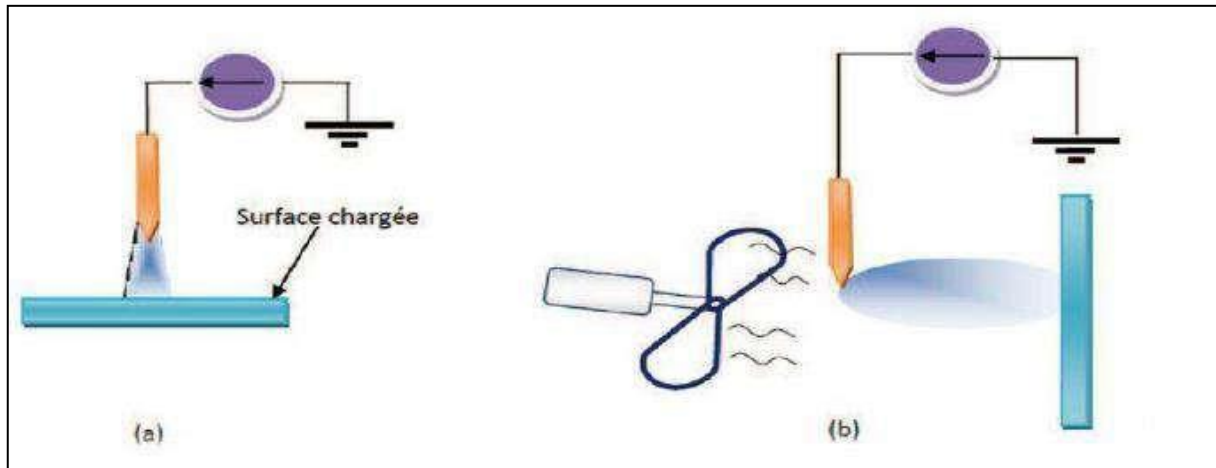


Figure II.3 (a) charges entrainées par le champ, (b) charges entrainées par un flux d'air.

II.6.6. Neutralisants statiques passifs

L'ioniseur passif est une électrode de faible rayon de courbure, reliée à la masse et placée à proximité de la surface chargée. Lorsque cette dernière s'approche de l'électrode passive, des charges de signe contraire sont créées sur cette électrode par influence électrostatique. Plus la charge sur la surface à neutraliser est importante, ou plus la distance entre celle-ci et l'électrode est petite, la charge image sur l'électrode neutralisante devient importante et de ce fait l'air entourant l'électrode peut s'ioniser. Ainsi des ions sont créés qui, sous l'effet du champ électrique, sont attirés par la surface chargée où les charges de signe contraire seront neutralisées par recombinaison et ceux de même signe seront repoussés.

II.6.7. Neutralisants statiques nucléaires

Ce type de matériel n'est presque plus utilisé mais on en trouve encore sur d'anciennes installations. Il offre l'avantage de ne pas avoir besoin d'énergie électrique pour assurer sa fonction. Moins efficaces que les éliminateurs inductifs ou électriques, ils présentent néanmoins l'intérêt de neutraliser les charges plus complètement lorsque le niveau de charge est faible. Pour cette raison, ils sont souvent utilisés conjointement avec les autres procédés. Leur inconvénient majeur réside dans la présence d'une source radioactive qui est contraignante en termes de gestion du risque et dont la durée de vie est limitée à environ un an, au bout duquel elle doit être remplacée. Ces éliminateurs existent sous forme de barre ou

Chapitre II Electricité statique et les techniques de neutralisation

de pistolet à air comprimé. Dans ces derniers, l'air est soufflé au travers d'une buse, dont une partie est composée d'un alliage contenant du polonium ou de l'américium qui ionise l'air.

II.7. Conclusion

La présence de charges électrostatiques sur les lieux de travail peut être à l'origine d'accidents de personnes ou de dysfonctionnements du matériel. Elle peut également compromettre le bon déroulement de certaines opérations de fabrication ou de manutention.

En matière de prévention des accidents d'origine électrostatique, il n'existe pas de solution type, mais il y a des mesures de prévention qui visent à supprimer ou réduire la génération et l'accumulation de charges électriques telles que la neutralisation par décharge couronne, neutralisation atmosphérique Neutralisation par augmentation de la conductivité,...

Chapitre III :
L'approche de Taguchi

III. Introduction

Inventée par Gen'ichi Taguchi, une méthode statistique pour réaliser des plans d'expériences. Appliquée dans l'industrie, cette méthode se concentre avant tout à minimiser les variations autour de la valeur de consigne.

L'objectif est d'obtenir des produits, processus et systèmes aussi robustes et insensibles aux perturbations externes que possible.

La méthode de Taguchi est appliquée dans le cadre de l'amélioration de la qualité et de la méthode Six Sigma. Cette méthode pragmatique a se rendre les plans d'expériences accessibles pour des techniciens.

III.1. Historique de la méthode de TAGUCHI

III.1.A. Portrait du Docteur TAGUCHI

Le Docteur TAGUCHI est né au Japon le 1er Janvier 1924. Diplômé du Kiryu technical collège et docteur ès sciences de l'université de Kyushu, il fut professeur honoraire de l'institut de technologie de Nankin (Chine). Le Docteur TAGUCHI entra en 1949 au Laboratoire de Communications Electriques de la Compagnie Japonaises des Téléphones et Télégraphes où il travailla jusqu'en 1961 à l'amélioration de la productivité dans le secteur études et recherche. Sa contribution majeure a consisté à combiner les techniques de l'ingénierie et des statistiques pour obtenir une amélioration rapide des coûts et de la qualité. Les plans d'expérience Taguchi ont contribué aux succès des Japonais dans le domaine de la Qualité, ce qui leur a permis de devenir les leaders mondiaux au niveau de la qualité tout en ayant des prix de revient très compétitifs La méthode TAGUCHI a été introduit aux Etats-Unis à partir de 1983, puis au Canada et en Grande Bretagne dès 1986, et enfin en France et en Espagne depuis 1988 [18].

III.1.B. L'objectif

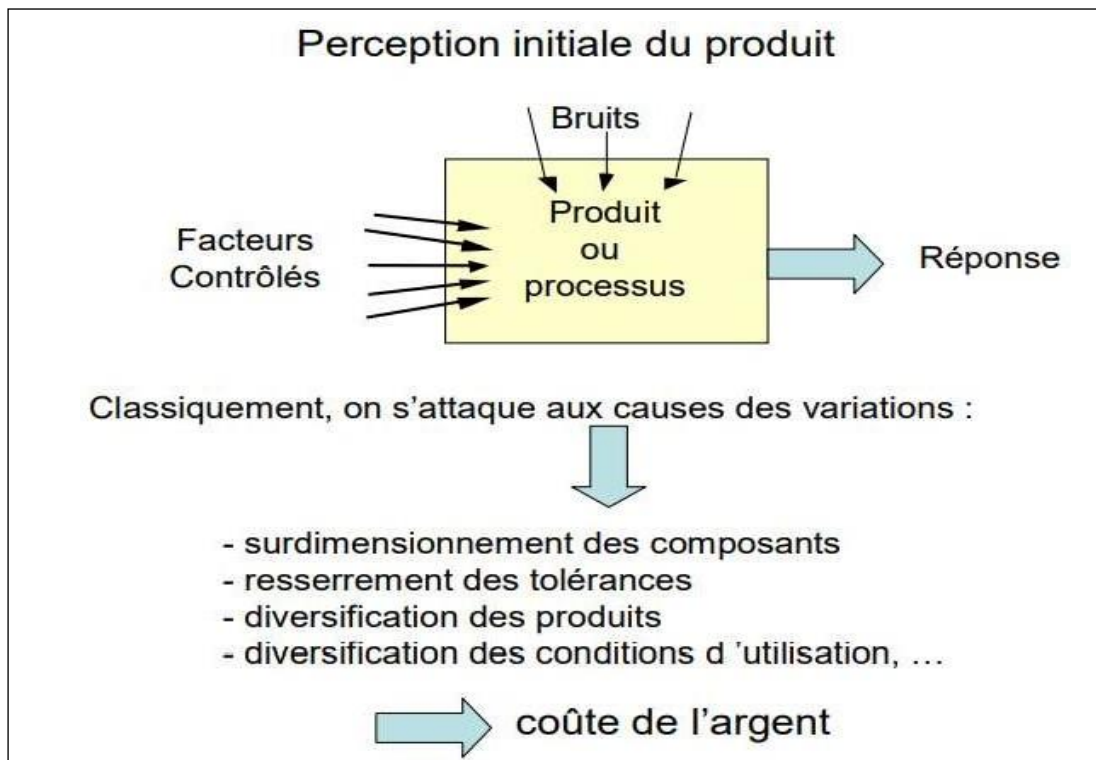
Classiquement, quand on constate une dispersion ou une instabilité des caractéristiques d'un produit lors de sa fabrication ou de son utilisation, on en recherche les causes afin de les réduire, voire les éliminer. Or ces causes peuvent être multiples : variabilité des conditions d'environnement (température, pression, hygrométrie, ...), variabilité des caractéristiques des matières premières et des composants utilisés, différences de façons de faire entre les différents opérateurs, etc. Les moyens pour les combattre coûtent en général fort cher : resserrement des tolérances des matières utilisées, surdimensionnement des composants,

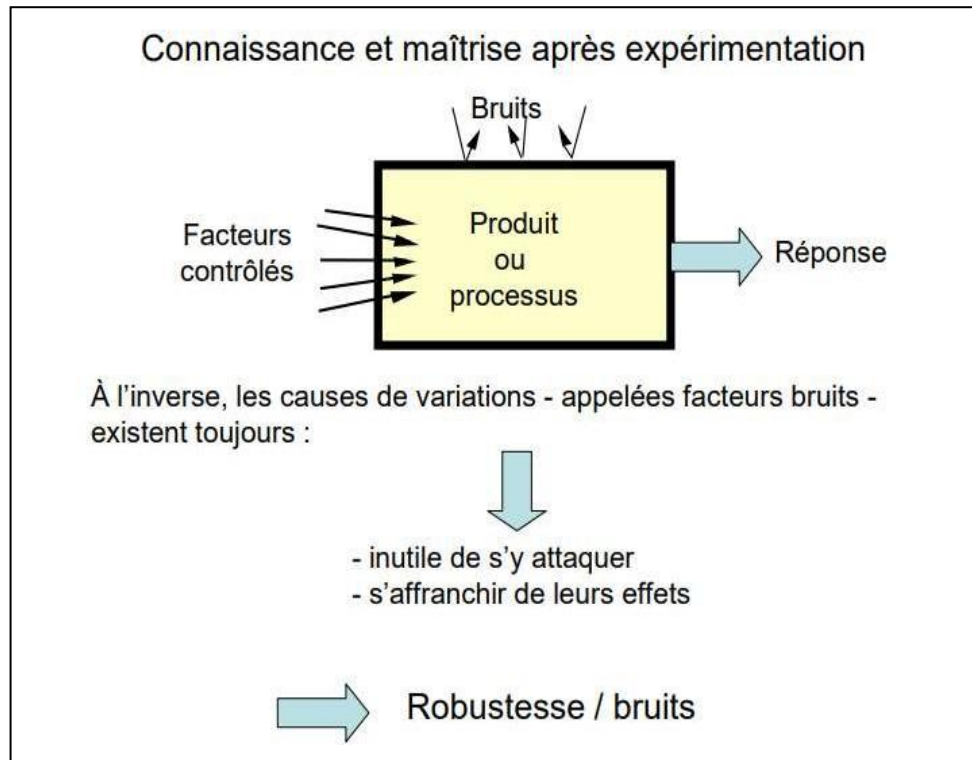
dispositifs plus ou moins sophistiqués de climatisation des ateliers de fabrication, règles d'utilisation ou de fonctionnement des produits très strictes.

III.2. Principes fondamentaux de la méthode de Taguchi :

La stratégie adoptée par le Docteur Taguchi est diamétralement opposée : au lieu de chercher à éliminer ces facteurs parasites (appelés facteurs bruits), la démarche consiste à minimiser leur impact. Concrètement, elle consiste à identifier les combinaisons de paramètres qui réduisent les effets des causes, sans s'attaquer directement à celles-ci. Les paramètres relatifs au produit ou au processus de fabrication, sur lequel on peut facilement agir, sont appelés les facteurs contrôlés (tels que la pression, la température, le type de lubrifiant, la vitesse de refroidissement d'une solution, ...) Le choix correct des facteurs sur lesquels on va agir est l'étape la plus délicate de la démarche Taguchi car elle nécessite une très grande expérience industrielle.

Pour illustrer cette approche, le plus simple est de relater une expérimentation menée au Japon en 1953 dans la fabrique de tuiles Ina Seito [18].





III.3. Concepts de qualité et de perte :

Qu'est-ce que la qualité. L'analyse de Taguchi commence par la question de savoir comment définir la qualité. Il n'est pas aisé de donner une définition simple de ce qui constitue la qualité ; toutefois, lorsque votre nouvelle voiture cale en plein milieu d'un carrefour -- vous mettant en danger ainsi que les autres automobilistes -- vous savez que votre véhicule n'est pas de grande qualité. En d'autres termes, la définition de l'inverse de la qualité est plus simple : c'est la perte totale pour vous et pour la société, due aux variations fonctionnelles et aux "effets secondaires" indésirables du produit. Par conséquent, nous pouvons mesurer la qualité en termes de perte associée, et plus grande sera la perte de qualité, moindre sera la qualité.

Fonction de perte discontinue (en escalier).

Vous pouvez formuler des hypothèses sur la nature et la forme générale de la fonction de perte. Imaginons un point spécifique idéal correspondant à la meilleure qualité possible, par exemple, une voiture parfaite sans aucun problème de qualité.

Il est courant, en maîtrise statistique des procédés [MSP] (statistical process control en anglais [SPC]), d'établir des limites de tolérance autour du point nominal idéal du processus de production.

Conformément à l'approche traditionnelle des méthodes de MSP, tant que nous nous situons à l'intérieur des tolérances, il ne devrait pas y avoir de problèmes. En d'autres termes, à l'intérieur des limites de tolérance, la perte de qualité est nulle ; si nous sortons de ces tolérances, la perte de qualité est déclarée inacceptable. Par conséquent, selon l'approche traditionnelle, la fonction de perte de qualité est une fonction discontinue en escalier : tant que nous restons dans les limites de tolérance, la perte de qualité est négligeable ; en revanche, dès que nous sortons de ces limites de tolérance, la perte de qualité devient inacceptable.

Fonction de perte quadratique.

La fonction en escalier sur laquelle sont basées les méthodes courantes de MSP constitue-t-elle un bon modèle de perte de qualité ? Reprenons l'exemple de "l'automobile parfaite". Existe-t-il une différence entre ce véhicule, un an après son achat et qui n'a toujours aucun problème, et un autre véhicule produisant de petits bruits de ferraille, avec quelques fixations perdues, et la pendule du tableau de bord hors-service (heureusement qu'il existe une garantie direz-vous...) ? Si vous avez déjà acheté un véhicule neuf du second type, vous savez bien que ces problèmes de qualité mineurs sont très fâcheux. Le problème ici est qu'il n'est *pas* réaliste de considérer que, lorsque vous vous écartez de la spécification nominale de votre processus de production, la perte de qualité est nulle tant que vous restez dans les limites de tolérance. Au contraire, lorsque vous n'êtes pas exactement sur la "cible", la perte va s'exprimer, par exemple, en termes de satisfaction-client. En outre, cette perte n'est probablement pas une fonction linéaire de l'écart aux spécifications nominales, mais plutôt une fonction quadratique (U inversée). Une fixation manquante à un endroit de votre véhicule neuf est gênante, mais vous ne vous formaliseriez sans doute pas trop pour ça ; si deux autres fixations font défaut, vous pourriez qualifier votre véhicule de "poubelle". Des écarts graduels aux spécifications nominales ne produisent pas des incréments proportionnels dans la perte, mais plutôt des incréments au carré [19].

III.4. Avantages et limites de la méthode de Taguchi :

Les plans permettent une diminution considérable du nombre d'essais et une interprétation rapide et sans équivoque. Ils fournissent des résultats faciles à présenter à des non spécialistes.

- Possibilité d'étudier un très grand nombre de facteurs.
- détection des interactions éventuelles.
- modélisation aisée des résultats.
- détermination des résultats avec une bonne précision.

III.5. INTÉRÊTS D'UN PLAN D'EXPÉRIENCE TAGUCHI

Un plan d'expériences selon la méthode Taguchi présente plusieurs intérêts:

- Il est simple à mettre en œuvre.
- Il requiert un faible nombre d'essais.
- Il conduit aux solutions techniques les plus économiques.

Caractéristique: c'est la grandeur que l'on désire suivre.

Facteurs: ce sont les paramètres du système qui ont a priori une influence sur la caractéristique.

Modalités: c'est le nombre de niveaux possibles associés à chaque facteur.

Réponse: c'est la valeur que prend la caractéristique à chaque essai.

III.6. Les matrices d'expériences fractionnaires Taguchi

La mise au point d'une matrice d'expériences fractionnaire orthogonale, spécialement adaptée à la réalisation d'une expérimentation donnée, n'est pas à la portée des non-spécialistes. Une des contributions majeures de Taguchi est d'avoir mis au point des outils qui simplifient, et, surtout, fiabilisent considérablement cette tâche notamment une collection de matrices d'expériences fractionnaires orthogonales standard, qui s'avèrent suffisantes pour la quasi totalité des situations industrielles [21].

Chaque matrice est désignée par un symbole. Par exemple :

$L_8(2^7)$ Signifie que l'on étudie 7 facteurs à 2 niveaux et qu'il faut réaliser 8 essais.

$L_{18}(2^1 * 3^7)$ Signifie que l'on étudie 1 facteur à 2 niveaux et 7 facteurs à 3 niveaux et qu'il faut réaliser 18 essais.

III.7. Fonction de perte

Le Dr Taguchi définit la fonction perte comme étant une fonction du second degré dans le cas où la caractéristique devrait suivre une nominale.

Elle s'écrit $L = (Y - Y_0)^2$

Avec :

K : une constante qui dépend du problème posé.

Y_0 : valeur nominale recherchée.

Y : valeur prise par la caractéristique.

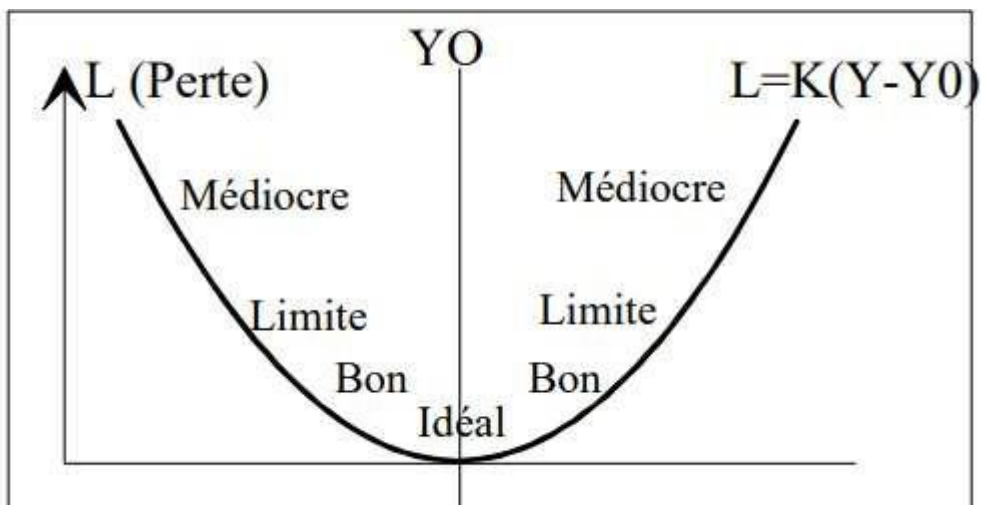


Figure. III. 1 : Fonction perte de Taguchi

➤ Perte dans le cas d'un échantillon

A partir de la définition de la fonction perte, il est intéressant de connaître la perte moyenne par pièce et de σ dans le cas d'un échantillon d'écart-type moyenné \bar{y}

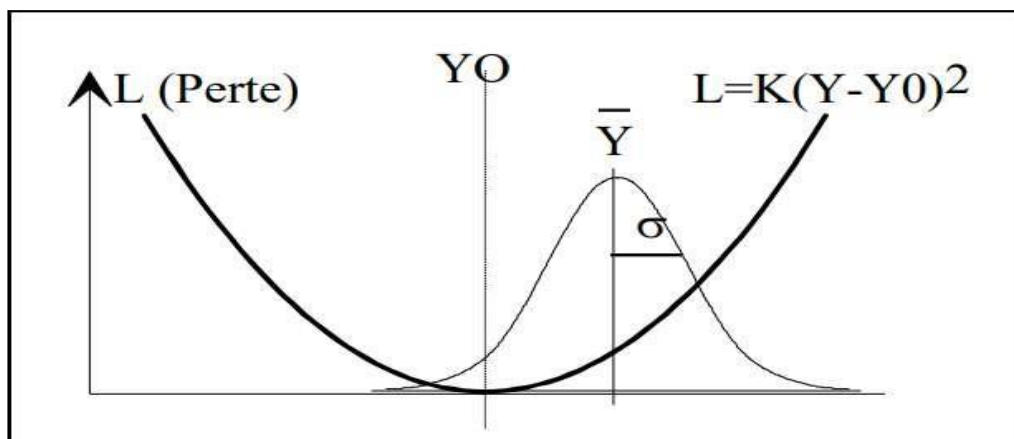


Figure. III. 2 : pertes dans le cas d'un échantillon

On trouve $\bar{L} = K (\sigma^2 + (\bar{y} - Y_0)^2)$

Avec

\bar{L} Perte moyenne par pièce.

σ : écart-type de l'échantillon.

\bar{Y} : moyenne de l'échantillon.

Y_0 : valeur cible.

III.8. Ration signal-bruit(S/B) :

La méthode classique fait intervenir pour chaque essai la valeur moyenne des différentes mesures faites et ne tient pas directement compte de la dispersion des mesures. La supériorité de la méthode Taguchi, par rapport à la méthode classique des plans d'expériences, résulte de l'utilisation d'un indicateur de performance : le ratio signal / bruit. Il prend simultanément en compte : - d'une part : l'objectif recherché (le signal). - d'autre part, la dispersion de cette valeur (le bruit).

Cet indicateur se calcule de façon différente suivant la nature du critère étudié :

- Ratio signal / bruit dans le cas d'un critère ciblé :

Avec valeurs toutes positives :

$$\frac{S}{N} (db) = 10 \log \left[\left(\frac{\bar{y}}{s} \right)^2 - \frac{1}{n} \right]$$

Avec valeurs positives et négatives :

$$\frac{S}{N} (db) = -10 \log(s^2)$$

- Ratio signal / bruit dans le cas d'un critère à minimiser :

$$\frac{S}{N} (db) = -10 \log[s^2 + (\bar{y})^2]$$

- Ratio signal / bruit dans le cas d'un critère à maximiser :

$$\frac{S}{N} (db) = 10 \log[(\bar{y})^2] - 10 \log \left[1 + 3 \left(\frac{s}{\bar{y}} \right)^2 \right]$$

Avec :

\bar{y} = moyenne arithmétique des valeurs mesurées.

s = écart-type des valeurs mesurées.

n = nombre de mesures effectuées.

On retiendra que la performance est d'autant plus grande que le ratio signal / bruit est élevé.

III.9. ANALYSE DE VARIANCE OU ANOVA

Au cœur du problème de la vérification d'hypothèses statistiques se trouve le fait qu'il est toujours possible d'attribuer à des variations aléatoires une partie des différences observées entre les moyennes des échantillons.

Dans une expérience, toutes les sources incontrôlables de variabilité qui affectent la mesure constituent ce qu'il est convenu d'appeler l'erreur expérimentale l'une des sources les plus importantes de variabilité incontrôlable provient des différences individuelles. Une autre source d'erreur provient de l'erreur de mesure, une mauvaise lecture de l'instrument, une erreur de transcription, un arrondissement, etc. D'autre part, une situation expérimentale n'est jamais parfaitement identique d'un moment à l'autre, puisque le sujet perçoit les deux événements comme étant successifs (mémoire). Il est impossible de créer des situations expérimentales exactement identiques. De plus, ces sources d'erreurs ne sont pas systématiques, elles sont aléatoires et indépendantes des effets du traitement. L'analyse de la variance (ANOVA) a pour objectif d'étudier l'influence d'un ou plusieurs facteurs sur une variable quantitative. Nous nous intéresserons ici au cas où les niveaux, ou modalités, des facteurs sont fixés par l'expérimentateur. On parle alors de modèle fixe ; C'est la comparaison de moyennes pour plusieurs groupes (> 2).

Il s'agit de comparer la variance intergroupe (entre les différents groupes : écart des moyennes des groupes à la moyenne totale) à la variance intragroupe (somme des fluctuations dans chaque groupe). S'il n'y a pas de différence entre les groupes, ces deux variances sont à peu près égales. Sinon, la variance intergroupe est nécessairement la plus grande. L'ANOVA se résume à une comparaison multiple de moyennes de différents échantillons constitués par les différentes modalités des facteurs. Les conditions d'application du test paramétrique de comparaison de moyennes s'appliquent donc à nouveau [21].

III.10. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons focalise sur la méthode de Taguchi, historique, ses principes et concepts, ainsi les fonctions des pertes et le ration signal-bruit(S/B)

Chapitre IV :
Etude expérimentale

IV.1. Introduction :

La neutralisation des charges électriques résiduelles à la surface des matériaux isolants est souvent une opération nécessaire dans une multitude applications industrielles ou de techniques de laboratoire. Le décharge couronne est largement utilisée parce qu'elle peut être générée facilement, économiquement et en toute sécurité (sans risques d'irradiation). L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la robustesse du processus, en utilisant le plan d'expérience de Taguchi.

IV.2. Procédure expérimentale

L'échantillon de polypropylène PP (60 mm x 60 mm x 0,08 mm) a été chargé en l'exposant pendant 10 s à la décharge couronne négative générée par une configuration d'électrode de type fil haute tension, face à une électrode à plaque mise à la terre (aluminium ; 120 mm x 90 mm). L'électrode haute tension était constituée d'un fil de tungstène (diamètre 0,2 mm) supporté par un cylindre métallique (diamètre 26 mm). Le fil et le cylindre étaient alimentés par la même alimentation haute tension réglable 50 kV, 6 mA (modèle SL 300 SPELLMAN), la distance entre le fil et la surface de l'électrode plate était de 30 mm. Une grille métallique a été placée entre le fil et l'électrode mise à la terre et connectée à la terre à travers une résistance $R_G = 80 \text{ M}\Omega$.

Trois minutes après la coupure de la haute tension de la décharge couronne négative, l'échantillon chargé a été déplacé à une vitesse constante de 3 cm/s au poste de mesure pour mesurer le potentiel de surface avec un voltmètre électrostatique, connecté à un PC. L'acquisition et le traitement des données expérimentales ont été effectués à l'aide d'un instrument virtuel adhoc, développé dans l'environnement LabView.

Après la décharge couronne DC, l'échantillon a été transféré au poste de la neutralisation à une vitesse constante de 3 cm/s pour le processus d'élimination des charges statiques sous l'électrode neutralisante (fil de tungstène).

Cette électrode a été connectée à un amplificateur haute tension, 30 kV, 20 mA (modèle 30/20A, Trek Inc., Medina, NY). L'amplitude V_n et la fréquence f_n de la haute tension alternative ont été ajustées à l'aide d'un générateur de fonction synthétisé (modèle FG 300, Yokogawa, Japon). Encore une fois, après la neutralisation des charges électriques, le potentiel de surface a été mesuré au même voltmètre électrostatique.

Le taux de neutralisation $N[\%]$ a été exprimé en fonction du potentiel de surface ‘avant’ (V_{avant}) et ‘après’ (V_{apres}) le processus de neutralisation [22].

$$N[\%] = \left[1 - \frac{V_{avant}}{V_{apres}} \right] * 100$$

Les échantillons de films PP ont été chargés en utilisant une tension $V_0 = -4 \text{ kV}$, et un courant $I_0 = -50 \mu\text{A}$. Toutes les expériences ont été réalisées à l'air ambiant (température : $25 - 27 \text{ }^\circ\text{C}$; humidité relative : $48 - 56 \%$).

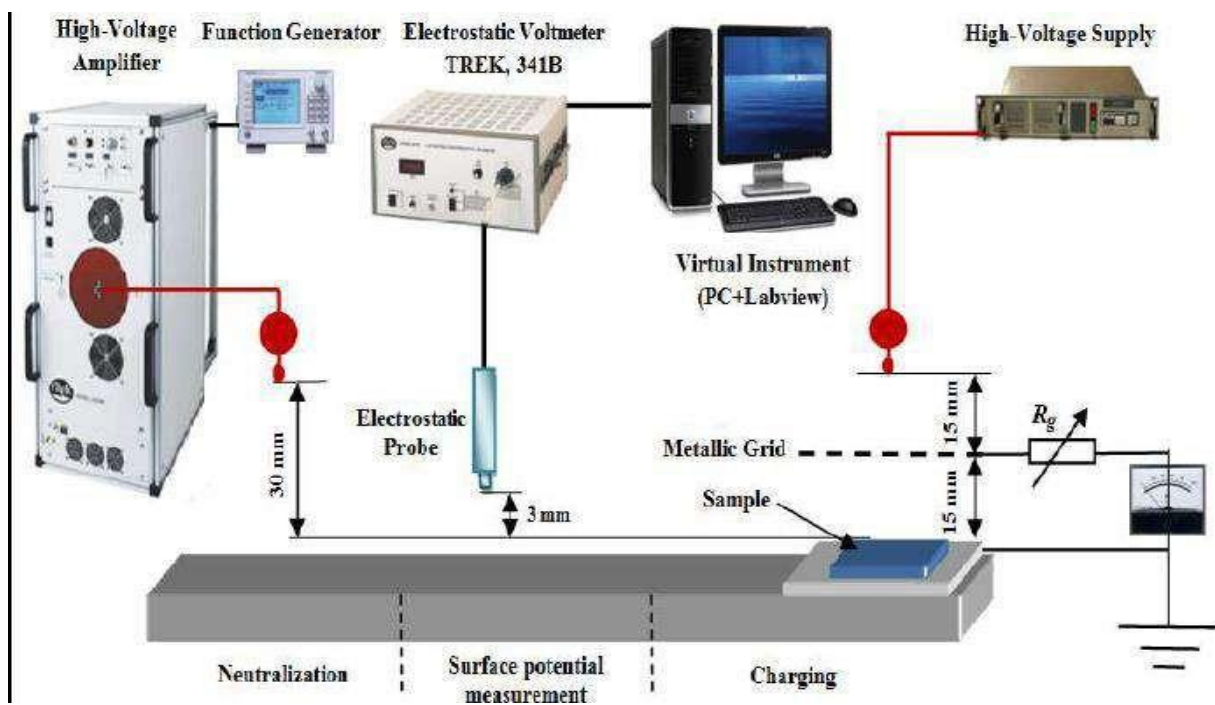


Figure. IV .1 : Dispositif expérimental pour l'étude de la neutralisation des polymères par décharge couronne

IV.3. Etude de robustesse utilisant le plan d'expérience de Taguchi

IV. 3.1 Facteurs et Niveaux

Le choix des facteurs "signal/bruit", selon la méthodologie de Taguchi, a été basé sur plusieurs considérations physiques et techniques, afin d'obtenir une neutralisation plus systématique de la compréhension du procédé [22].

L'amplitude et V_n la fréquence f_n de la haute tension alternative sont considérées comme des facteurs "contrôle/design". Le domaine de variation de l'amplitude de tension varie entre $V_{n\ min} = 16\text{ kV}$ à $V_{n\ max} = 20\text{ kV}$, La fréquence varie entre $f_{n\ min} = 50\text{ Hz}$ à $f_{n\ max} = 150\text{ Hz}$

La distance D entre l'électrode de neutralisation et l'échantillon et les vitesses de l'échantillon ont été considérés comme deux facteurs de "bruit".

La distance entre l'électrode neutralisante et l'échantillon varie entre $D_{min} = 25\text{ mm}$ à

$D_{max} = 35\text{ mm}$, et la vitesse de l'échantillon varie entre $S_{min} = 20\text{ mm/s}$ à $S_{max} = 30\text{ mm/s}$

Les quatre facteurs sont bien définis dans les tableaux IV.1 et IV.2 respectivement.

Tableau. IV. 1: Facteurs de contrôles

L'amplitude de tension V_n (KV)	La fréquence f_n (Hz)		
	50	100	150
16	D11		D12
18		D00	
20	D21		D22

Tableau. IV. 2: Facteurs de bruits

Vitesse S (mm/s)	Distance D(mm)		
	25	30	35
20	N11		N12
25		N00	
30	N21		N22

IV.3.2 Méthodologie de Taguchi

La méthodologie de Taguchi tentent a satisfaire le besoin de plan de robustesse dans les industries. Cette approche permet de faire face aux variations de l'environnement opérationnel. Elle vise à minimiser la variation autour d'une valeur cible d'un produit/processus.

Une fonction de perte est définie pour calculer l'écart entre la valeur expérimentale et la cible. La valeur de la fonction de perte est ensuite transformée en un rapport " signal / bruit " (S / N)

Les rapports S/N plus élevés correspondent aux meilleures performances du procédé. Par conséquent , le niveau optimal des variables de contrôle du processus est celui qui a le S / N le plus élevé [22] .

Selon la méthodologie de Taguchi, le rapport S/N pour la maximisation du taux de neutralisation est exprimé par :

$$\frac{S}{N} = 10 \log [(\Psi^2)] - 10 \log [1 + 3 \left(\frac{\sigma}{\Psi} \right)^2]$$

Avec σ^2 : la variance Ψ : la moyenne

IV.3.3 Modélisation mathématique

Une modélisation de régression quadratique a été utilisé pour exprimer la corrélation entre le taux de neutralisation et les quatre facteurs :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_{1,1}x_1^2 + a_{2,2}x_2^2 + a_{3,3}x_3^2 + a_{4,4}x_4^2 + a_{1,2}x_1x_2 + a_{1,3}x_1x_3 + a_{1,4}x_1x_4 + a_{2,3}x_2x_3 + a_{2,4}x_2x_4 + a_{3,4}x_3x_4.$$

$$x_i = \frac{u_i - u_{ic}}{\Delta u_i} = u_i^*$$

$$u_{ic} = \frac{u_{i \max} - u_{i \min}}{2}, \quad \Delta u_i = \frac{u_{i \max} - u_{i \min}}{2}$$

y : la réponse de processus

x_i : valeur centrale normalisée pour chaque variance u_i (= 1.2.3 ... e)

a_i : Valeur de réponse

IV.4. Résultats et discussions

IV.4.1 Modélisation

Le taux de neutralisation est calculé à partir des résultats correspondant au plan d'expérience, les résultats sont montrés dans le tableau. IV.3.

La modélisation de régression reflète les effets des deux types de facteurs "contrôle et bruit" et de leur interaction sur la réponse

$$y = 70.51 + 14.05 V_n^* - 1.917 f_n^* - 12.963 D^* - 0.011 s^* - 17.74 V_n^{*2} + 4.876 f_n^{*2} - 16.883 D^{*2} + 7.216 s^{*2} - 1.261 V_n^* f_n^* + 19.789 V_n^* D^* - 1.484 D^* s^*$$

La qualité des résultats de la modélisation de régression obtenue avec MODDE 8.0 était plutôt médiocre, $R^2=0.956$ et $Q^2=0.778$ (figure. IV 2)

Tableau. IV. 3. Résultats des expériences

N_0	V_n (KV)	f_n (Hz)	D (mm)	s (mm/s)	Taux de neutralisation (%)
1	16	50	25	20	48.02
2	20	50	25	20	53.22
3	16	150	25	20	65.83
4	20	150	25	20	53.39
5	16	50	35	20	3.74
6	20	50	35	20	76.5
7	16	150	35	20	0.34
8	20	150	35	20	66.15
9	16	50	25	30	67.74
10	20	50	25	30	60.98
11	16	150	25	30	67.15
12	20	150	25	30	52.82
13	16	50	35	30	0.65
14	20	50	35	30	69.52
15	16	150	35	30	0.1
16	20	150	35	30	63.11
17	16	100	30	25	3.64
18	20	100	30	25	67.35
19	18	50	30	25	78.24
20	18	150	30	25	73.06
21	18	100	25	25	67.12
22	18	100	35	25	22.92
23	18	100	30	20	76.61
24	18	100	30	30	79.37
25	18	100	30	25	69.08
26	18	100	30	25	70.37
27	18	100	30	25	70.48

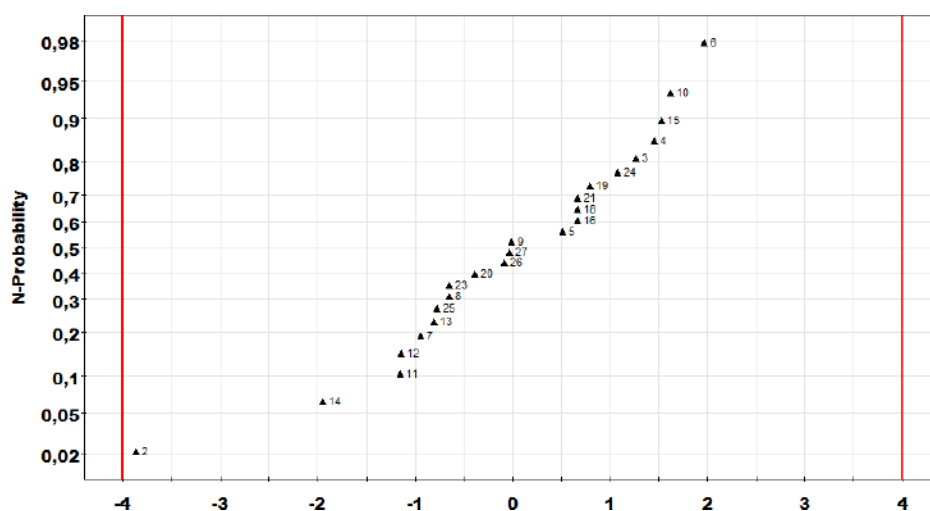


Figure. IV. 2. MODDE 8.0 Diagramme de probabilité normale des résidus

Après l'élimination des coefficients statistiquement non significatifs (-4 +4 sont en dehors de l'intervalle, expérience N_0 17 et 22 dans le tableau IV.3), une modélisation bien meilleur a été obtenu : $R^2 = 0,997$ et $Q^2 = 0,986$.

La modélisation de régression révèle les effets positifs importants du V_n , sur le taux de neutralisation. En revanche, on peut voir l'effet négatif important de f , D , s .

Globalement ,Le taux de neutralisation dépend de la quantité d' ions à la surface de l'échantillon (dans ce cas , des ions positifs) , par conséquent , le courant couronne augmente avec la tension appliquée V_n et diminue avec la distance D entre l'électrode neutralisante et la surface de l'échantillon.

Le diagramme observé dans la figure. IV.3 montre que tous les points sont tombés autour de la ligne de régression (diagonale). Cela signifie que les prédictions faites par l'analyse de régression sont en accord avec les valeurs des expériences. De plus , la valeur du coefficient de détermination ajusté R^2 est très élevée : $R^2 \text{ adj.} = 0,994$, ce coefficient indique la quantité de la variation de régression , ce qui indique une modélisation significative bien élevée [22].

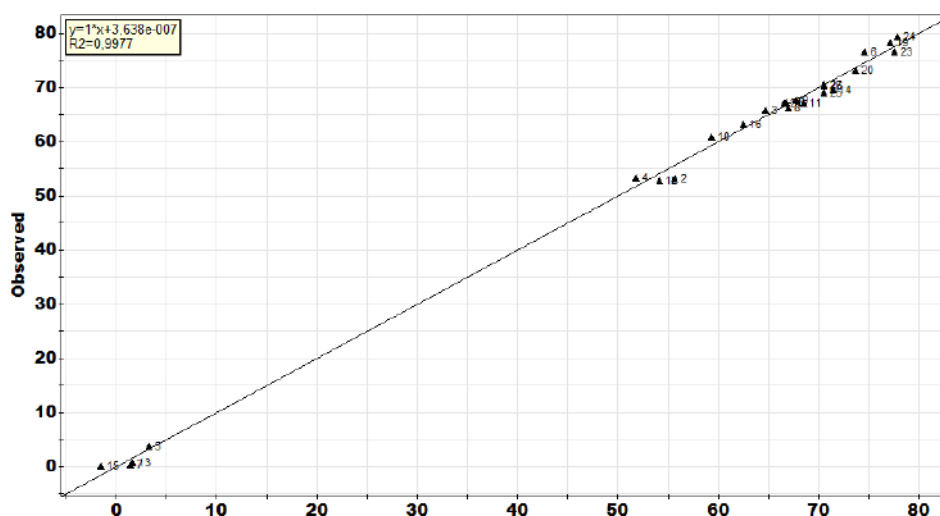


Figure. IV. 3. MODDE 8.0. Diagramme de la réponse observe vs prédite

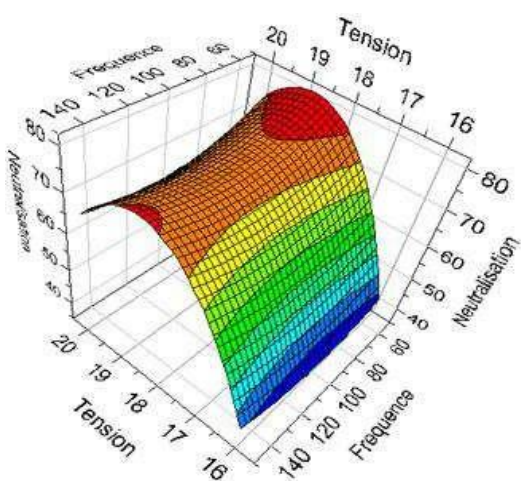
Les diagrammes d'iso-réponse obtenus avec le logiciel MODDE 8.0 et représentés sur la figure. IV. 4 montrent que le meilleur taux de neutralisation est obtenu à une haute amplitude de tension appliquée, basse fréquence et distance moyenne entre l'électrode et l'échantillon (tableau IV.4).

Cela peut s'expliquer que la densité des ions positifs et négatifs générés dans la décharge couronne dépend principalement de la tension appliquée. Lorsque l'échantillon étudié a une charge d'une polarité donnée, les ions de polarité opposée se dirigent plus rapidement vers lui, sous l'action du champ électrique. Dans le même temps, la densité ionique diminue progressivement que l'on s'éloigne de l'ioniseur, en conséquence de la recombinaison ion-ion. Néanmoins, réduire l'intervalle spatial entre l'électrode neutralisante et l'échantillon n'améliore pas nécessairement la neutralisation des charges.

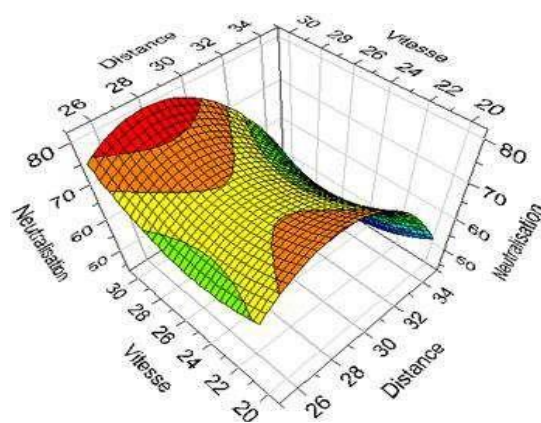
Il est à noter que les valeurs du tableau. IV.4 maximisent le taux de neutralisation, mais ne garantissent pas la robustesse du processus, c'est-à-dire l'absence de sensibilité aux variations naturelles des facteurs « bruit » [22].

Tableau. IV.4. MODDE 8.0 Le valeur optimal des facteurs (contrôle, bruit) du taux de neutralisation

	V_n (KV)	f_n (Hz)	D (mm)	s(mm/s)	Taux de neutralisation (%)
Max	18.68	50.27	29.19	20	87.95



(a)



(b)

Figure. IV.4. Diagramme de surface de taux de neutralisation en fonction (a) tension V_n et fréquence f_n , (b) vitesse s et distance D.

IV. 4.2 Le processus de robustesse

Le but de cette investigation est d'obtenir un processus robuste en utilisant la méthodologie de Taguchi [22]. Le rapport S/N le plus élevé correspond à la meilleure caractéristique de performance. A partir du tableau 5, une modélisation simple du rapport S/N peut être dérivée :

$$y = 29,208 + 7,293V_n^* + 0,103f_n^* - 0,407V_n^*f_n^*$$

L'amplitude de tension V_n a l'effet le plus élevé sur le processus de neutralisation, tandis que l'effet de la fréquence f_n et la l'interaction entre l'amplitude de la tension et la fréquence ($V_n f_n$), sont statistiquement négligeable.

Dans la figure. IV.5, On observe clairement que le plan le plus robuste est obtenue à une valeur plus élevée de l'amplitude de tension $V_n = 20$ kV, L'influence de fréquence est négligeable, lorsqu'elle varie entre 50 et 150 Hz. Cela peut s'expliquer que la haute tension appliquée augmente la densité d'ions émis par l'ioniseur. A basse fréquence, malgré le fait que les ions négatifs sont plus mobiles que les positifs, le champ électrique externe créé par les ions négatifs sur la surface de l'échantillon (tension initiale V_0) peut retarder le transport des ions négatifs et accélérer le mouvement d'ions positifs vers la surface de l'échantillon.

A une amplitude de tension $V_n = 20$ kV, le taux de neutralisation n'est que d' environ 70 % , mais le processus est plus robuste à $V_n = 18$ kV , où il peut dépasser 75 % , mais est plus sensible aux petites incontrôlables variations des facteurs " bruit " (vitesse de l'échantillon et la distance entre l'échantillon et l'électrode couronne).

Tableau. IV.5. Le apport (S/N)

	<i>Taux de neutralisation (%)</i>					Ψ	σ^2	<i>S/N rapport</i>
	<i>N11</i>	<i>N12</i>	<i>N21</i>	<i>N22</i>	<i>N00</i>			
<i>D11</i>	48.02	67.74	3.74	0.65	0.82	24.19	796.59	20.61
<i>D12</i>	65.83	67.15	0.34	0.1	3.09	27.3	1025.08	21.63
<i>D21</i>	53.22	60.98	76.5	69.52	65.63	65.17	61.57	36.01
<i>D22</i>	53.39	52.82	66.15	63.11	62.48	59.59	29.6	35.4
<i>D00</i>	73.49	66.14	24.44	25.45	70.37	51.72	483.51	32.39

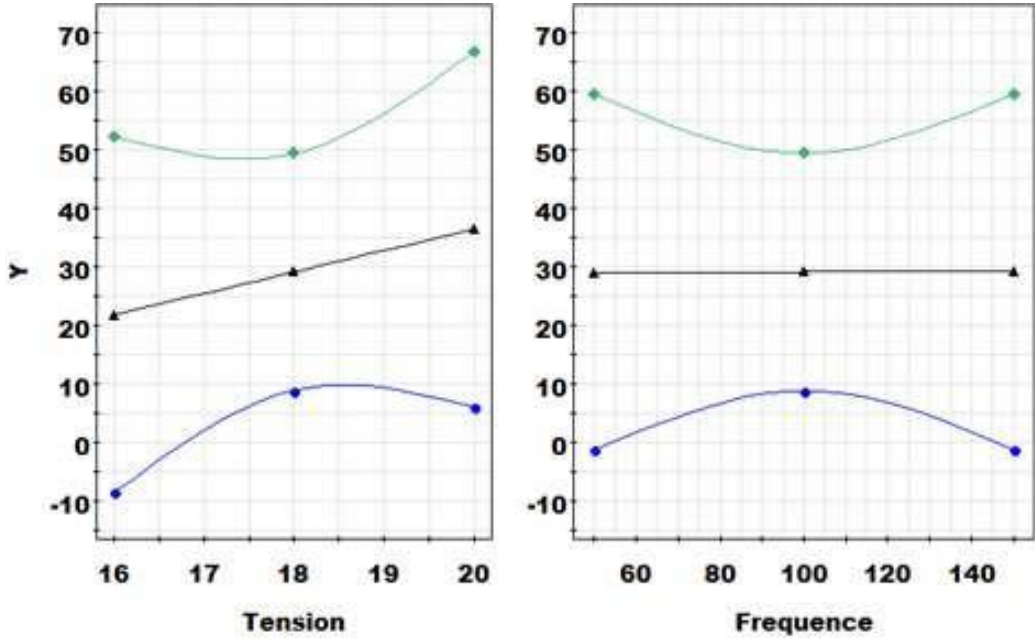


Figure. IV. 5. Diagramme des rapports y en fonction de l'amplitude et la fréquence

IV.5. Conclusion

Les effets des différentes variables de contrôle sur la décharge couronne de la charge résiduelle à la surface des films PP ont été évalués. De plus, la méthodologie de Taguchi a permis d'effectuer le plan de processus de robustesse.

Les conclusions principales de cette étude peuvent être formulées comme suit :

- 1) L'efficacité de la neutralisation augmente fortement avec l'augmentation de l'amplitude de la tension et la diminution de la distance entre l'électrode de neutralisation et la surface de l'échantillon.
- 2) Dans le domaine de variation considéré dans la présente étude, la vitesse de déplacement de l'échantillon sous l'électrode neutralisante a un effet négligeable sur le résultat du processus.
- 3) Le fonctionnement le plus robuste est obtenu pour les valeurs les plus élevées de la haute tension appliquée, à la fréquence du réseau (50 Hz). Cette valeur est différente de celle qui maximise le taux de neutralisation.

Conclusion générale

Conclusion générale

La neutralisation des charges électriques à la surface des polymères isolants en utilisant la méthode de Taguchi est le principal intérêt de notre travail, d'une manière générale, nous pouvons dresser ici un bilan des principales conclusions dégagées au fil de cette étude:

- L'électricité statique présente actuellement l'une des technologies innovante utilisée dans différents domaines et applications, par contre l'accumulation des charges résiduelles dans des zones indésirables, que ce soit dans les foyers ou dans les industries nécessite une bonne domination à fin d'éviter le risque (incendie, explosion,...).
- La méthode de Taguchi permet de trouver rapidement les paramètres optimaux du processus en utilisant un nombre limité d'expériences. Cela peut conduire à des économies de temps et de ressources considérables.
- Analyse de la variance est une méthode statistique qui permet d'identifier les facteurs qui ont le plus d'impact sur la qualité du processus. Cette méthode peut être utilisée pour déterminer les facteurs qui influencent le plus la qualité de la neutralisation des charges électriques et pour les améliorer de manière ciblée.
- L'analyse des résultats expérimentaux du processus de la neutralisation, nous a permis de montrer que l'augmentation la tension neutralisante et la distance inter électrode améliore significativement le processus. Par ailleurs, la fréquence et la vitesse de déplacement n'ont aucune influence sur le processus.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Bibliographie

- [1] **M. Hani BENGUESMIA., M. El Hadi BELHITECHE.,** Influence Du Vieillissement Electrique Sur Les Propriétés D'un Polymère Isolant Utilisé Dans Le Transport D'énergie Electrique, université de Mohamed Boudiaf – m'sila, **2016.**
- [2] **Z. Ibtissam .,** Elaboration et caractérisation d'un matériau composite polymère-ZnO, université de Tlemcen, 02 juillet 2017.
- [3] **A. Djamila.,** caractérisation des polymères par la méthode des courants thermiquement stimulés, Université Mohamed BOUDIAF d'Oran, 2010.
- [4] Avantages et inconvénients des polymères <https://www.epfl.ch/labs/lmc/wpcontent/uploads/2018/06/POLYMERES>.
- [5] **A. ABDERAOUF .,** comportement mécanique en traction monotone d'un polymère associé au carbonate de calcium (péhd 5502/caco3), université badji mokhtar Annaba ,2017.
- [6] **B. Marwa.,** Etude des caractéristiques des matériaux isolants par la méthode de DPS, université badji mokhtar- Annaba., 2019.
- [7] Charge par influence <https://www.positronlibre.com/cours/electrotechnique/notionelectricite/electrostatique-electrisation.php>.
- [8] Décharge couronne alternative ., https://nanopdf.com/download/chapitre-iv-15_pdf.
- [9] Propriétés optiques., <file:///C:/Users/Master/Desktop/Les%20polymères>.
- [10] R. RARIVOSON., les polymères naturels : fabrication d'un emballage film à base de féculé., université d'Antananarivo., 2016.
- [11] **R. Mohammed.,** Contribution à l'étude de la neutralisation des charges électriques dans les particules isolantes. université djillali liabès de-sidi-bel-abbès., 2015.
- [12] **F. Roqiya.,** neutralisation des charges sur la surface des isolantes applications sur les cheveux. Université 8 Mai 1945 – Guelma. 2018.
- [10] R. RARIVOSON., les polymères naturels : fabrication d'un emballage film à base de féculé., université d'Antananarivo., 2016.
- [11] **R. Mohammed.,** Contribution à l'étude de la neutralisation des charges électriques dans les particules isolantes. université djillali liabès de-sidi-bel-abbès., 2015.
- [12] **F. Roqiya.,** neutralisation des charges sur la surface des isolantes applications sur les cheveux. Université 8 Mai 1945 – Guelma. 2018.
- [13] phénomène électrostatique risque associés et prévention
- [14] **D. Khaled** Utilisation des tensions alternatives pour la neutralisation des matériaux granulaires chargés. Université Djillali Liabès de Sidi Bel-Abbès., 2018.
- [15] Les risques de l'électricité statique <https://www.atex-expertise.com/les-risques-delelectricite-statique/>.
- [16] Principales mesures de préventive <https://www.inrs.fr/risques/electriques/preventionrisque-electricite-statique.html>.
- [17] **A. Imed Eddine .,** Modélisation du fonctionnement optimal des filtres et séparateurs électrostatiques des matériaux poudreux., université ferhat abbas – setif, 2019.
- [18] Alexis J. *Pratique industrielle de la méthode Taguchi* - Afnor 1995
- [19] American Supplier Institute, Inc *Orthogonal arrays and linear graphs* - ASI - 1987
- [20] Benoist D. *Notions sur les plans d'expériences* - Technip - 1974
- [21] Benoist D. Toubier Y. - Germain S. *Plans d'expériences : construction et analyse* - Lavoisier Tec. et doc. – 1994 Courtois A. Martin Bonnefous C. Pillet M.

Références bibliographiques

[22] Karim Rouagdia , Mohamed Nemamcha , Lazhar Herous , Laboratoire de Génie Electrique , Université du 08 mai 1945 , B.P 401-24000 Guelma , Algérie et Lucian Dascalescu Institut PPRIME , UPR 3346 , CNRS - Université de Poitiers - ENSMA 4 Avenue Varsovie , Angoulême , 16021 , France

[23] **Al Mwlad yaqoob, Gheddari Fouad** Neutralisation des charges électriques sur la surface des polymères isolants UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2021.

Verso document (2021 / 2022)

<u>Présenté publiquement par :</u> LEGMAIRI Ahmed Ayoub BOUKHALOUA Mouhammes Sayah	<u>Le thème :</u>
<u>Résume :</u> <u>Abstrac :</u>	
<u>Rubrique de classement :</u>	
<u>Mots Clés :</u> <u>Keys Words:</u>	
<u>Jury :</u> Président : Assesseurs : Directrice de mémoire :	