



UNIVERSITÉ EL-CHAHID HAMMA LAKHDAR

Faculté des Sciences Appliquée

Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Électromécanique

Thème :

Réalisation d'un séparateur électrostatique de
matière isolante-métallique orienté vers les déchets.

Présenté par :

- **Djaballah Abdelfattah**
- **Gadi Ismail**
- **Neghmouche Ali Koussaid**
- **Kherief Amir**

Encadrant par :

- **Dr.Zenina Med. Laid**

Année Universitaire : 2022 / 2023



REMERCIEMENT

Dieu soit loué, qui nous a accordé la santé et la volonté que nous sommes venus présenter cet humble travail devant vous.

Tout d'abord, je voudrais adresser mes sincères remerciements à notre professeur et encadrant, Muhammad, sans qui ce travail n'aurait pas été riche et précieux, voire sujet à soumission. la qualité exceptionnelle de votre encadrement et la justesse des informations.

Nous remercions également Dr.Labioud Choiaib et Mme Hakima pour l'assistance scientifique et pratique distinguée, sans oublier M. Farhat, le chef de l'incubateur d'entreprises, pour avoir fourni l'atmosphère appropriée pour Effectuer ce travail.

Nous remercions également chaque enseignant d'avoir été patient avec nous et de nous avoir enseigné tout au long de notre parcours académique malgré les charges professionnelles.



DÉDICACE

Je dédie ce travail à

Les deux personnes les plus précieuses dans ma vie sont ma mère et mon père, qui sont la raison pour laquelle j'ai atteint ce moment.

A mon soutien et soutien ma chère épouse.

A mes enfants un morceau de mon âme.

A mes soeurs, symbole de loyauté et d'amour.

A mes chers frères et leurs maris.

A mes amis, ma famille, ma famille et tous ceux que j'aime.

A mes professeurs et à tous ceux qui m'ont appris une lettre.

A ceux qui aiment nous voir réussir.

DJABALLAH ABDELFAH



DÉDICACE

Je dédie ce travail à

Les deux personnes les plus précieuses dans ma vie sont ma mère et mon père, qui sont la raison pour laquelle j'ai atteint ce moment.

A mes soeurs, symbole de loyauté et d'amour.

A mes chers frères et leurs maris.

A mes amis, ma famille, ma famille et
tous ceux que j'aime.

A mes professeurs et à tous ceux
qui m'ont appris une lettre.

A ceux qui aiment nous voir réussir.

GADI ISMAIL



DÉDICACE

Je dédie ce travail à

Les deux personnes les plus précieuses dans ma vie sont ma mère et mon père, qui sont la raison pour laquelle j'ai atteint ce moment.

A mes soeurs, symbole de loyauté et d'amour.

A mes chers frères et leurs maris.

A mes amis, ma famille, ma famille et
tous ceux que j'aime.

A mes professeurs et à tous ceux
qui m'ont appris une lettre.

A ceux qui aiment nous voir réussir

NEGHMOUCHE ALI KOSSAID



DÉDICACE

Je dédie cette réalisation à :

**Les deux personnes les plus chères à mon cœur sont
ma mère et mon père. Les mots manquent quand je
veux exprimer**

**leur vertu. J'espère qu'ils sont
fiers de cette réalisation.**

**- Et je n'oublie pas mes frères et
ma famille pour leur
soutien financier et moral.**

**- Ainsi sont mes professeurs et mes
amis, chacun avec son propre nom.**

KHERIEF AMIR

Résumé.

La séparation électrostatique des déchets représente une source de force dans le domaine économique et industriel, et elle affecte également positivement l'environnement car elle permet l'exploitation des déchets nocifs et inutilisables et leur fabrication en tant que matières premières, et elle offre également une bien meilleure et plus rendement plus précis que les méthodes précédentes utilisées dans la séparation.

Aujourd'hui, la séparation électrostatique est une technologie moderne et unique pour séparer les matériaux plastiques et métalliques.

Cet article fournit une explication détaillée de la mise en place d'une machine de séparation électrostatique équipée d'un système électrique qui génère une haute tension avec une polarité négative et sépare les matériaux en fonction de leur charge.

Abstract.

The electrostatic isolation of waste materials represents a source of strength in the economic and industrial field, and it also positively affects the environment as it allows the exploitation of harmful and unusable waste and its manufacture as raw materials, and it also provides a much better and more accurate yield than the previous methods used in separation.

Today, electrostatic separation is a modern and unique technology for separating plastic and metal materials.

This article provides a detailed explanation of the establishment of an electrostatic separation machine equipped with an electrical system that generates high voltage with negative polarity and separates materials according to their charge.

ملخص.

ان العزل الكهروستاتيكي لمواد النفايات يمثل مصدر قوة في المجال الاقتصادي و الصناعي، كما يؤثر ايجابا على البيئة اذ يسمح باستغلال المخلفات الضارة و الغير قابلة للاستعمال و تصنيعها كمواد أولية خام، كما يقدم مردود أحسن بكثير و أدق من الطرق السابقة المستعملة في الفصل.

يعتبر الفصل الكهروستاتيكي في وقتنا الحالي تكنولوجيا حديثة و فريدة من نوعها لفصل المواد البلاستيكية و المعدنية.

توضح هذه المقالة شرح مفصل لانشاء الة فصل كهروستاتيكية مزودة بنظام كهربائي يولد جهد عالي بالقطبية السالبة يقوم بفصل المواد على حسب شحنتها.

Liste des figures :

Figure	Titre	page
Fig. (I.1).	Mélanges de déchets	5
Fig. (I.2).	Processus de gestion de déchets plastique	6
Fig. (I.3).	Représenté Différents produits plastique.[14]	6
Fig. (I.4).	Processus du Recyclage	8
Fig. (I.5).	Représenté Matières première des produits plastique.[16]	8
Fig. (II.1).	Lignes de champ de deux charges ponctuelles de signe Oppose	14
Fig. (II.2).	Exemple de lignes équipotentielles	14
Fig. (II.3).	Modélisation des niveaux superficiels des polymères en triboélectrisation.	15
Fig. (II.4).	Diagrammes des niveaux d'énergie qui expliquent la tribo-electrisation de deux polymères de différentes matières par la théorie des niveaux superficiels de haute densité : (a) avant le contact ; (b) durant le contact [15].	16
Fig. (II.5).	Représentation schématique des quat.	18
Fig. (III.1).	Signal de AC 220V.	21
Fig. (III.2).	Branchement de Vs avec Transformer.	21
Fig. (III.3).	signal AC 48V.	22
Fig. (III.4).	Branchement Vs, T1 avec Pont diod	23
Fig. (III.5).	Signal de redressement.	24
Fig. (III.6).	Branchement C1.	25
Fig. (III.7).	Signal de filtrage.	25
Fig. (III.8).	AC-DC générateur.	26
Fig. (III.9).	Signal DC 12V.	26
Fig. (III.10).	Générateur du pulse	28
Fig. (III.11).	signal fréquence	29
Fig. (III.12).	Gate Drive.	30
Fig. (III.13).	Low Said.	30
Fig. (III.14).	Circuit de Flayback Converter.	31

Fig. (III.15).	Haut tension.	32
Fig. (VI.1).	Séparateur électrostatique.	35
Fig. (VI.2).	Les forces agissant sur le séparateur cylindrique.	36
Fig. (VI.3).	Dimensions du séparateur.	37
Fig. (VI.4).	Electrode de haute tension.	38
Fig. (VI.5).	Séparateur.	40
Fig. (VI.6).	matériaux métalliques	41
Fig. (VI.7).	matériaux plastique.	41
Fig. (VI.8).	Mélange de matières plastiques et métalliques.	41
Fig. (VI.9).	Processus de séparation (sous le séparateur électrostatique)	42

Liste de tableau

tableau	titre	page
Tableau(01):	l'entrée de circuit flyback	19
Tableau (02):	types de minuteur 555	27

Liste des symboles :

F_{ϵ}	Force de répulsion des charges
k	Constante
q	Quantité de charge
r	distance entre q_1 et q_2
ϵ	permittivité
ϵ_r	permittivité relative
ϵ_0	la permittivité du vide
$\pm Q$	Quantité de charge
q_u	charge unitaire positive
V_{AB}	Différence de potentiel entre B et A
\vec{P}	Potential électrique
W_A	Travail d'extraction au polymère A
W_B	Travail d'extraction au polymère B
V_1	La tension sur la première bobine
V_2	La tension sur la deuxième bobine
I_1	Le courant sur la première bobine
I_2	Le courant sur la deuxième bobine
K_{FR}	Ripple factor
D	Duty cycle
f	Fréquence
V_k	Tension de perte de diode.
V_T	La tension qui sort du Transformateur T .
V_+	Tension qui sort du pont diode.
T_{on}	C'est le temps pendant lequel le courant passe.
T_{Off}	C'est le temps pendant lequel aucun courant

	ne passe.
H	Flux magnétique.
N_p	Nombre des tours de la première bobine.
N_s	Nombre des tours de la deuxième bobine.
V_{ro}	La tension de retour du MOSFET.
L	L'inductance.
E	champ électrique crée par électrode.
<i>q_{ind}</i>	<i>q_{ind}</i> : charge de granule.
F_e	Forces du champ électrostatique.
F_i	Force image électrique.
d	distance séparant.
F_c	Force centrifuges.
F_g	Force de pesanteur.
m	masse de particule.
g	vitesse angulaire du cylindre.
w	Gravitation.
R	Rayon de tamboure..
L	Génératrice.
ρ	masse volumique.
%E	erreur relative.

Introduction général	1
Chapitre I Récupération des déchets	
I.1. Introduction	2
I.2 Les matériaux polymères	2
I.2.1 Définition	2
I.2.2. Caractéristiques des matériaux polymère	2
I.2.3. Les propriétés des polymères	2
I.2.4. Différentes classes de polymères	2
I.2.4.1. Classification selon l'origine	2
I.3. Le Plastique	3
I.3.1. Les caractéristiques du plastique	3
I.3.2. Fabrication des matières plastiques	3
I.3.3. Recyclage des mélanges de matières plastiques	4
I.3.4. La gestion des déchets de plastique	5
I.4. LE RECYCLAGE	7
I.4.1 Définition	7
I.4.2. Le processus de recyclage	7
I.4.3. Les matériaux granulaires	8
I.4.3.1 Définition	8
I.4.4. Déchets médicaux	9
I.4.4.1. Déférents types de déchets médicaux	9
I.4.4.2. Recyclage des produits médicaux en Algérie	9
I.5. Conclusion	10
Chapitre II Dispositives des charges	
II.1 Introduction	11
II.2 Electrotorture	11
II.2.1 Définition	11
II.2.2 Loi fondamentale d'électrostatique (Coulomb)	11
II.3 Diélectrique	10
II.3.1 Définition	10
II.3.2. Permittivité diélectrique	11
II.3.3 Potentiel électrique	12
II.4. Mécanismes de chargement triboélectrique des isolants	14
II.5 Phénomène chargement diélectrique	17
Chapitre III l'étude de power supply	
II.1 Introduction:	19
III.2. La Conception du FLYBACK :	19
III.2.1. Générateur AC/DC	20
III.2.2. Générateur du pulse	26
III.2.3 Flyback converter	31
Chapitre VI L'étude expérimentale du séparateur électrique	
VI.1 Introduction.	34
VI.2. Le principe de fonctionnement du séparateur électrostatique.	34
VI.2.1. Forces agissant sur les particules séparées.	35

VI.3.1 Forces du champ électrostatiques.	35
VI.3.2. Force image électrique.	35
VI.3.3. Forces mécaniques.	36
VI.3.3.1. Force centrifuges.	36
VI.3.3.2. Force de pesanteur.	36
VI.4. Dimensions du séparateur électrique utilisé dans l'expérience de construction du séparateur.	37
VI.5. Analyse appliquée de l'expérience.	39
VI.6. Matériel utilisé.	40
VI.6.1 Séparateur électrostatique (Tambour Rotative).	40
VI.6.2. Échantillons à séparer.	41
VI.7. Étude expérimentale.	42
VI.7.1 Analyse des résultats.	43
VI.7.2 Interprétation des résultats.	43
VI.8. Conclusion.	43
Conclusion général	44

Introduction générale

Introduction générale

Les déchets et les déchets industriels sont la principale source de pollution, car le risque de pollution diffère au détriment de ses sources. J'ai proposé de recycler les déchets pour réduire leur impact sur l'environnement et les ressources en eau, car ils sont récupérables et recyclés, selon plusieurs méthodes, tant manuelles que mécaniques, car de nombreux déchets se prêtent au recyclage, et cela en les réintroduisant dans l'industrie et en les exploitant comme matière première ou en les brûlant pour être considérés comme une source d'énergie. [1]

Compte tenu des méthodes de valorisation efficaces dans le processus de tri des déchets plastiques et le support est l'un des matériaux les plus recyclables, qui est par tri électromagnétique ainsi que par tri électrostatique. [2]

Nous avons abordé dans notre recherche le processus de tri utilisant la méthode de tri électrostatique par tri électrostatique à l'aide d'un cylindre rotatif, qui est considérée comme l'une des méthodes les plus efficaces dans le processus de tri. [3]

Le travail effectué par le chercheur "Tilmatin" _ est considéré comme l'une des sources les plus importantes pour clarifier les mécanismes de tri par électricité statique à l'aide de champs électriques, Où nous avons testé un prototype pour l'utilisation du séparateur électrostatique. [4]

En utilisant les modèles étudiés par le chercheur Tilmatin, et nous avons réalisé un modèle pour la source haute tension en utilisant des circuits d'induction impulsionnelle à polarité négative.

Dans le premier chapitre, nous avons abordé l'étude de Le récupération des matériaux et déchets

Dans le deuxième chapitre, nous avons examiné des positives de chargement

Dans le troisième chapitre, nous avons examiné l'étude de power supply.

Dans le quatrième chapitre, nous avons abordé une étude expérimentale du séparateur électrique, où nous avons appliqué une haute tension aux électrodes du séparateur électrostatique, et nous avons testé la séparation en modifiant la vitesse du cylindre rotatif pendant le processus de séparation.

Chapitre I

Le récupération des matériaux et déchets

I.1.Introduction :

La récupération et le recyclage des matériaux et déchets sont des pratiques essentielles pour minimiser l'impact des activités humaines sur l'environnement. La récupération et le recyclage sont des moyens efficaces de réutiliser des matériaux et des déchets pour produire des produits et des matériaux qui peuvent être réutilisés et réutilisés. Contribuent à la protection de l'environnement en minimisant la consommation des ressources naturelles et en réduisant le volume des déchets qui se retrouvent dans les décharges. En récupérant et en recyclant les matériaux et les déchets, il est possible de réduire le gaspillage et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. De plus, le recyclage peut contribuer à l'économie. [5]

I.2.Les matériaux polymères :**I.2.1. Définition :**

Les polymères sont principalement utilisés pour l'élaboration de matériaux polymères, c'est-à-dire toute matière utile d'origine naturelle ou synthétique, mise en œuvre par l'homme et transformée en vue d'élaborer un objet (on parle couramment d'objet en matière plastique ou plus simplement d'objet en plastique) offrant des propriétés d'usage.[6]

I.2.2. Caractéristiques des matériaux polymère :

Les polymères peuvent être issus du milieu naturel (végétal et animal) ou obtenu par polymérisation de monomères. Polymères naturels et synthétiques peuvent aussi subir des réactions chimiques ultérieures pour répondre à un cahier des charges particulier. Plus spécifiquement, un polymère artificiel est un polymère naturel modifié chimiquement.[7]

I.2.3. Les propriétés des polymères :

À température ambiante, les polymères peuvent être liquides ou solides. De manière générale, les polymères sont légers. Ils sont aussi souples et ne sont stables qu'à des températures modérées. Sauf exception, ce sont des isolants électriques et thermiques.[8]

I.2.4. Différentes classes de polymères :**I.2.4.1. Classification selon l'origine :****- Les polymères naturels :**

Sont issus des règnes végétaux ou animaux. Leur importance est considérable Par exemple : cellulose caoutchouc, protéine, laine.

- Les polymères synthétiques :

Totalement issus du génie de l'homme, sont obtenus par polymérisation de molécules monomères. Comme : polyéthylène (PE), polychlorure de vinyle (PVC), polystyrène (PS), polyéthylène téréphtalate (PET).

- Les polymères artificiels :

Obtenue par modification chimique de polymère naturel de façon à transformé certaine de leurs propriété (nitrocellulose, acétate de cellulose...ext.) ont toujours connu une certaine importance économique.[9]

I.3. Le Plastique :**I3.1. Les caractéristiques du plastique :**

- Le plastique n'existe pas à l'état naturel.
- C'est un produit obtenu par transformation de substances naturelles
- C'est un produit obtenu par synthèse directe à partir de substances extraites du pétrole, du gaz naturel, du charbon ou d'autres matières minérales.
- Aujourd'hui, 99% des plastiques utilisés dans le monde sont fabriqués à partir de pétrole et de gaz naturel.

PET , PEHD , PELD , PVC , PP , PS.[10]

I.3.2. Fabrication des matières plastiques :**a) Le Raffinage du pétrole :**

- Séparation par distillation des différents constituants
- Plusieurs produits recueillis : - Gaz - Naphta - Super - Kérosène - Gazole - Fioul domestique - Fioul lourd

Le naphta est ensuite transformé par vapocraquage.

b) Le vapocraquage :

Procédé thermique qui permet de fractionner les hydrocarbures en molécules différentes de plus faibles tailles :

- l'éthylène - le propylène - le benzène - les styrènes, Ces molécules légères, qu'on va utiliser pour fabriquer les plastiques, sont appelées bases pétrochimiques. [11]

c) La Polymérisation :

Les molécules d'éthylène, de propylène, de styrène dans certaines conditions de température et de pression vont se lier entre elles par réaction chimique appelée polymérisation. Il se forme ainsi des molécules de très grandes tailles comme le polyéthylène, le polypropylène et le polystyrène. C'est ce que l'on appelle des polymères.[11]

Un ensemble de polymères va former une matière plastique. C'est la nature de ces polymères et la manière dont ils vont être arrangés entre eux qui vont gouverner les propriétés du plastique. Ceux-ci se rangent en deux grandes familles :

❖ Les thermodurcissables :

- Résistent à la chaleur.
- Finissent par être détruits sans fondre si l'on élève trop la température.
- Plastiques qui ne sont pas potentiellement recyclables. Exemples - Polyuréthane (mousse ou autres) - Formica (surfaces de plan de travail) - Bakélite (isolants thermiques, poignées de casseroles)

❖ Les thermoplastiques :

- Ramollissent quand on les chauffe et durcissent de nouveau en se refroidissant.
- Peuvent être refondus après usage et remodelés plusieurs fois.
- Plastiques potentiellement recyclables.[12]

I.3.3. Recyclage des mélanges de matières plastiques :

Il peut s'avérer pratiquement (séparation délicate) ou économiquement (diminution du coût de recyclage en évitant l'étape de tri) intéressant de recycler des déchets plastiques sous forme de mélange contenant deux produits ou plus ; le problème est que les polymères impliqués sont généralement incompatibles, lorsqu'on veut faire un mélange, on essaye de disperser au mieux une phase dans l'autre. Pour cela, on est parfois amené à utiliser un composé supplémentaire qui permettra de comptabiliser le mélange en améliorant ses propriétés.[13]



Fig.(I.1). Mélanges de déchets.

I.3.4. La gestion des déchets de plastique :

Le diagramme d'un système d'exploitation et de gestion des déchets plastique est représenté schématiquement dans la Figure 2. Les principales opérations impliquées dans un processus de gestion des déchets comprennent la collecte des déchets plastique à l'extérieur ou l'intérieur du flux de déchets ménagers, la mise en décharge, sa récupération, le recyclage en produits utiles, et la création de marchés pour les produits recyclés.[13]

I.4. LE RECYCLAGE

I.4.1 Définition :

Le recyclage est le processus de collecte, de tri, de traitement et de transformation des matériaux usagés en de nouveaux produits. Le recyclage est important car il permet de réduire la quantité de déchets qui finissent dans les décharges et les océans, et il permet également de préserver les ressources naturelles en utilisant des matériaux recyclés plutôt que des matériaux vierges.

I.4.2. Le processus de recyclage :

Implique plusieurs étapes :

- **La collecte** : les matériaux recyclables sont collectés auprès des ménages, des commerces et des industries.
- **Le tri** : les matériaux recyclables sont triés selon leur type, leur couleur et leur qualité.
- **Le traitement** : les matériaux recyclables sont nettoyés, broyés et fondus pour créer des matières premières pour de nouveaux produits.
- **La fabrication** : les matières premières recyclées sont utilisées pour fabriquer de nouveaux produits.

Le recyclage peut être effectué pour de nombreux types de matériaux, notamment les métaux, le papier, le verre et le plastique. Cependant, tous les matériaux ne sont pas recyclables de la même manière, et certains peuvent être plus difficiles à recycler que d'autres. Il est également important de noter que le recyclage n'est qu'une partie de la solution pour réduire la quantité de déchets qui finissent dans les décharges et les océans. D'autres solutions, telles que la [15]

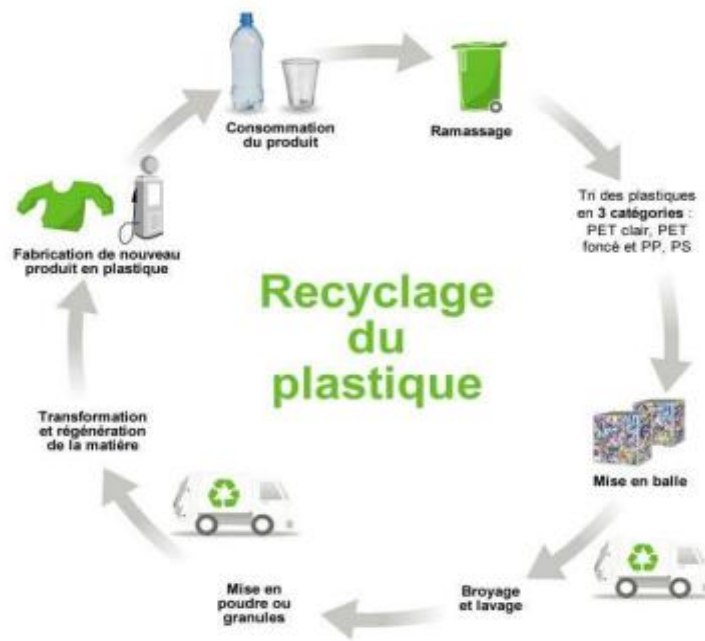


Fig.(I.4.) Processus du Recyclage.

I.4.3. Les matériaux granulaires :

I.4.3.1 Définition :

Les matières granulaires sont des matériaux composés de grains solides de petite taille (en général, de quelques micromètres à quelques millimètres). Ces grains peuvent être sphériques, anguleux, plats ou allongés, et peuvent être composés de différents matériaux tels que des métaux, des minéraux, des polymères ou des produits alimentaires.



Fig.(I.5): Représenté Matières première des produits plastique.[16]

I.4.4. Déchets médicaux :**I.4.4.1. Différents types de déchets médicaux :**

Les déchets médicaux sont classés en plusieurs catégories selon leur nature et leur dangerosité. Voici les principaux types de déchets médicaux :

- **Les déchets dits "communs" ou "non dangereux"** : il s'agit des déchets issus des activités courantes des établissements de santé, tels que les emballages, les papiers, les cartons, les restes alimentaires, etc. [17]

- **Les déchets dits "spéciaux" ou "à risques"** : il s'agit des déchets potentiellement dangereux pour la santé humaine ou l'environnement, tels que les aiguilles, les seringues, les flacons de produits chimiques, les liquides biologiques, les organes et tissus humains, etc. [17]

- **Les déchets dits "radioactifs"** : il s'agit des déchets contenant des matières radioactives, utilisées notamment pour les examens médicaux ou les traitements de certaines maladies. [17]

- **Les déchets dits "pharmaceutiques"** : il s'agit des médicaments périmés, des emballages vides de médicaments, des résidus de produits chimiques utilisés dans les traitements médicaux, etc.[17]

- **Les déchets dits "d'activités de soins à risques infectieux" (DASRI)** : il s'agit des déchets potentiellement contaminés par des agents pathogènes (virus, bactéries, parasites), tels que les aiguilles, les compresses, les pansements, les gants, les masques, etc.[17]

I.4.4.2. Recyclage des produits médicaux en Algérie :

Le recyclage des produits médicaux en Algérie est un sujet encore peu développé et pour lequel il y a peu d'informations disponibles. Cependant, certains produits médicaux peuvent être recyclés dans des conditions spécifiques. Les produits médicaux contiennent souvent des matériaux recyclables, tels que le plastique, le métal ou le verre. Cependant, ces matériaux ne peuvent être recyclés que s'ils sont collectés, triés et traités dans des installations spécialisées. En Algérie, les déchets médicaux doivent être collectés et traités conformément à la réglementation en vigueur, notamment le décret n° 01-278 du 20 août 2001 relatif à la gestion des déchets médicaux.[17]

Cela implique que les déchets médicaux doivent être collectés et transportés dans des conditions spécifiques et traités dans des installations autorisées. Cependant, le recyclage des produits médicaux en Algérie est actuellement limité en raison de l'absence d'infrastructures et de technologies appropriées pour le traitement et le recyclage de ces matériaux. Il est donc

important de mettre en place des infrastructures et des technologies appropriées pour permettre le recyclage des produits médicaux. En résumé, le recyclage des produits médicaux en Algérie est encore peu développé et dépend de la mise en place d'infrastructures et de technologies appropriées pour le traitement et le recyclage de ces matériaux. [17]

I.5. Conclusion :

Les produits plastiques sont des produits très important dans la vie humaine et industrielle . multi sources et multi modes d'usinage en plus beaucoup d'avantages comme facilité de transférer et de recyclage.[18]

Chapitre II: positives de chargement

II.1 Introduction :

L'électricité statique est un phénomène qui est connu depuis très longtemps. En 600 av. J.-C., Thalès de Milet décrit ses effets. L'électricité statique est avant tout 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 d'opérations de fabrication ou de manutention.[19]

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.[19]

II.2 Electrostatique :**II.2.1 Définition:**

L'électrostatique est l'étude des champs électriques stationnaires. On étudie des charges électriques qui ne bougent pas, et donc le champ électrique ne varie pas en fonction du temps. Dans ce cas-ci, il n'y a pas de champ magnétique, ce qui simplifie l'analyse des problèmes [20].

Avant de procéder à fond dans la matière, il y a quelques définitions importantes à retenir :

Charge : C'est une propriété fondamentale de certaines particules ; on s'intéresse ici au comportement de ces particules sous l'effet d'une force reliée à la charge. Une charge est représentée par la variable q . Les charges existent sous l'une de deux formes :

Négative ou positive. La valeur d'une charge est un multiple entier n d'une constante fondamentale, la charge d'un électron $e = 1.60 \times 10^{-19}$. L'unité de la charge est le Coulomb [C].[20]

Champ : Un champ (électrique ou magnétique) est une distribution spatiale d'un scalaire ou vecteur. C'est une façon de caractériser l'effet d'une charge sur l'espace environnant.[20]

Un autre point important : la loi de la conservation de charge. C'est un postulat fondamental physique. Les charges ne sont pas créées ou détruites; elles sont simplement redistribuées.[20]

II.2.2 Loi fondamentale de électrostatique (Coulomb):

Coulomb fut le premier à mettre sous forme d'équation (en 1785) les observations exécutées par les sceptiques sur le phénomène de l'électricité. Les sceptiques s'étaient aperçus

que des charges semblables se repoussent, tandis que des charges différentes s'attirent.[21]

Après de nombreuses expériences très délicates, Coulomb formule ainsi sa loi d'attraction et de répulsion des charges :

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{R_{12}^2} \mathbf{a}_{12} \quad (\text{II.1})$$

ou est la force exercée par q_1 sur q_2 , R_{12} est la distance entre q_1 et q_2 , \mathbf{a}_{12} est un vecteur

Unitaire qui pointe de q_1 vers q_2 , et k est une constante, qui dépend du milieu et du système d'unités. Dans le système SI, la constante k est donnée par:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad (\text{II.2})$$

Où ϵ est la constante diélectrique (ou permittivité) du milieu. La permittivité est une mesure de la capacité d'une matière à concentrer un champ électrique. La permittivité d'un milieu est donné par :

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (\text{II.3})$$

Où ϵ_r est la permittivité relative (1 pour l'air et le vide ; et plus grand pour les autres milieux) et ϵ_0 est la permittivité du vide, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m.

Selon l'équation 2.1, si deux charges sont de même signe (positives ou négatives), la force sera alors positive, et il y a donc répulsion. Si les charges ne sont pas de même signe, alors la force est négative, et il y a attraction. [21]

Il y a une condition spéciale à observer pour que la loi de Coulomb soit valide :

La dimension des corps où se retrouvent les charges doit être beaucoup plus petite que la distance qui sépare les charges.

Dans le cadre de ce cours, on supposera que cette condition est toujours respectée.[21]

II.3 Diélectrique :

II.3.1 Définition :

Un milieu est diélectrique s'il ne contient pas de charges électriques susceptibles de se déplacer. Il ne peut donc pas conduire le courant électrique et il est électriquement neutre. En

revanche, les charges électriques à l'intérieur du milieu peuvent se déplacer sous forme de mouvements de faible amplitude et former un dipôle électrostatique sous l'effet d'un champ électrique extérieur. Le matériau est alors capable d'emmagasiner de l'énergie électrostatique.[22]

Un diélectrique est caractérisé par sa permittivité ou constante diélectrique ϵ_r (permittivité relative par rapport à celle du vide ϵ_0). Elle décrit le facteur par lequel le champ électrique entre les charges est diminué par rapport au vide et par définition est toujours supérieure à 1. Plus la constante diélectrique est élevée, plus la force entre les deux charges électriques séparées par ce diélectrique est faible. La constante diélectrique intervient aussi en optique en modifiant l'indice de réfraction. [22]

II.3.2. Permittivité diélectrique :

Remplissons le condensateur avec un fluide diélectrique. La valeur C de la capacité du condensateur ainsi rempli est supérieure à C_0 , et le rapport C/C_0 est la permittivité relative κ' du matériau. Le « prime » qui est affecté au symbole indique qu'il s'agit d'une quantité réelle. On verra plus loin que la dissipation fait apparaître une composante imaginaire de la permittivité, qu'il faut distinguer de sa composante réelle. Chaque fois que la permittivité est réelle, le « prime » pourra être supprimé sans ambiguïté.[23]

Pour comprendre l'origine physique de l'augmentation de la capacité qui résulte de l'introduction d'un fluide diélectrique dans le condensateur, on peut faire le raisonnement suivant : chargeons le condensateur vide à la tension V ; par définition de C_0 , des charges $\pm Q$

$= \pm C_0 V$ apparaissent sur les électrodes ; déconnectons maintenant le condensateur de la source de tension et introduisons le fluide en évitant de décharger le condensateur ; la charge Q reste constante, mais une partie de cette charge, maintenant immobilisée par des dipôles (induits ou permanents), ne contribue plus à maintenir la différence de potentiel entre les armatures ; cette différence de potentiel diminue, mais cela n'est possible que si la capacité C a augmenté, puisque le produit $CV = Q$ est constant. Notons que, si on avait rempli le condensateur sous tension constante, l'augmentation de capacité aurait produit un courant dans le circuit extérieur.[23]

La permittivité relative κ' des matériaux diélectriques aux fréquences usuelles est toujours supérieure à l'unité, valeur qui correspond au vide. Elle varie avec la concentration et la nature des dipôles. Pour un matériau condensé non polaire, c'est-à-dire ne contenant pas de dipôles permanents (gaz élémentaires liquéfiés, hydrocarbures simples, etc.), les seuls dipôles contribuant à κ' sont des dipôles induits par la polarisation des atomes ou des molécules dans le

champ électrique, comme on le verra plus loin, et la valeur de κ' est de l'ordre de 2 (de 1,5 à 4 environ). En revanche, pour un matériau polaire, c'est-à-dire constitué de dipôles (H₂O, CO₂, etc.), la valeur de κ' aux fréquences assez basses (cf. chap. 10) peut dépasser 100 ; quant aux matériaux ferroélectriques, leur permittivité relative juste au-dessus du point de Curie peut atteindre plusieurs milliers. [23]

La relation $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$ qui relie dans le vide l'induction \vec{D} au champ \vec{E} doit être remplacée par $\vec{D} = \epsilon' \vec{E} = \kappa' \epsilon_0 \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$, où \vec{P} est le vecteur polarisation :

$$\vec{P} = E_0(K' - 1)\vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} \quad (\text{II.4})$$

II.3.3 Potentiel électrique:

Par définition, le potentiel électrique d'un point A par rapport à un point B est défini comme étant le travail par unité qui serait effectué si on déplaçait une charge unitaire positive q_u de B à A.

$$V_{AB} = \frac{W}{q_u} = - \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \left[\frac{J}{C} \text{ ou } V \right] \quad (\text{II.5})$$

En fait, V_{AB} représente la différence de potentiel entre B et A.

On calcule maintenant la différence de potentiel entre deux points due à une charge à l'origine:

$$V_{ba} = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_a^b \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot \hat{a}_R dR \hat{a}_R \quad (\text{II.6})$$

Ce qui donne:

$$V_{ba} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} \Big|_{R=a}^{R=b} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) = V_b - V_a \quad (\text{II.7})$$

Si la référence à l'infinie est nulle, le potentiel à un rayon R de la charge est:

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (\text{II.8})$$

Si la charge est une distribution :

$$V = \int \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (\text{II.9})$$

Si on prend la relation différentielle de l'équation 2.32, on obtient :

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (\text{II.10})$$

Ou

$$\vec{E} = -\frac{dV}{d\vec{l}} \quad (\text{II.11})$$

Mais, la dérivée d'un scalaire par rapport à un vecteur est l'opérateur ∇ . Donc:

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (\text{II.12})$$

Cette dernière équation implique qu'on peut calculer le champ électrique en calculant le gradient de V. Dans certains cas, il est plus facile de calculer V en premier, puis faire les dérivées pour obtenir \vec{E} . [24]

Est-ce que l'équation (II.5) fait du sens, Elle dit que le champ électrique est égal à moins le gradient de la tension. On a vu que le gradient est un vecteur qui pointe vers l'augmentation maximale d'une fonction. Donc, dans ce cas-ci, puisqu'il y a un négatif devant le gradient, l'équation (II.5) dit que le champ électrique pointe vers la tension minimale. Si on reprend la **figure II.1**, on voit bien que c'est le cas. C'est une formulation mathématique de la convention que le champ électrique pointe du positif au négatif.

Il y a un autre point à considérer pour le potentiel électrique : les lignes équipotentielles. Les lignes équipotentielles sont des lignes (imaginaires) où le potentiel est le même. Ces lignes sont normales aux lignes de champ électrique. On peut en voir un exemple à la **figure II.2**. Le champ électrique est représenté par les lignes noires, et pointe de la plaque supérieure (1V) à la plaque inférieure (0V). Trois lignes équipotentielles sont montrées : [25]

0.75V, 0.5V et 0.25V. Ces lignes sont perpendiculaires aux lignes du champ électrique.

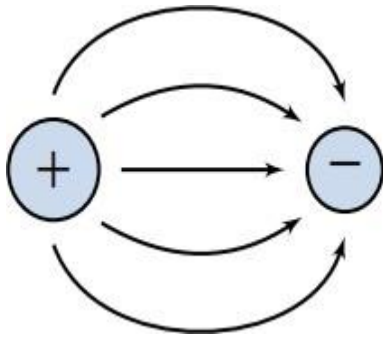


Figure II.1 : Lignes de champ de deux charges ponctuelles de signe opposé.

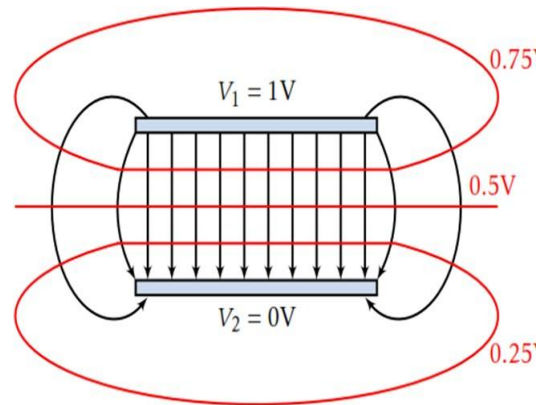


Figure II.2 : Exemple de lignes équipotentielles.

II.4. Mécanismes de chargement triboélectrique des isolants

La génération de charge électrostatique par contact est un phénomène basé sur la physique de surface des polymères [31]. Dans un solide, les niveaux d'énergie permis sont confinés dans une bande dont la largeur, de l'ordre de l'électronvolt, dépend du cristal et du recouvrement des orbitales atomiques. Les solides ont une structure de bandes; on distingue les bandes d'énergie permises, et les bandes d'énergie interdites (Figure II.4). Les bandes d'énergie se remplissent selon la loi statistique de Fermi, les électrons occupent tous les niveaux d'énergie inférieure à l'énergie de Fermi, ou niveau de Fermi, sa valeur est caractéristique du cristal considéré. On met alors en évidence la bande de valence et la bande de conduction.

La modélisation des niveaux superficiels, qui explique le processus de triboélectrisation, est basée sur le transfert de charge entre les surfaces de contact et la présence des niveaux d'énergie dans la bande interdite des polymères. Les bandes noires situées au-dessous des niveaux Fermi représentent des niveaux d'énergie occupés tandis que les bandes grises, des niveaux d'énergie libres E^A , E^B sont les niveaux Fermi superficiels et W_A , W_B représentent le travail d'extraction F F superficiel de deux matériaux polymères.

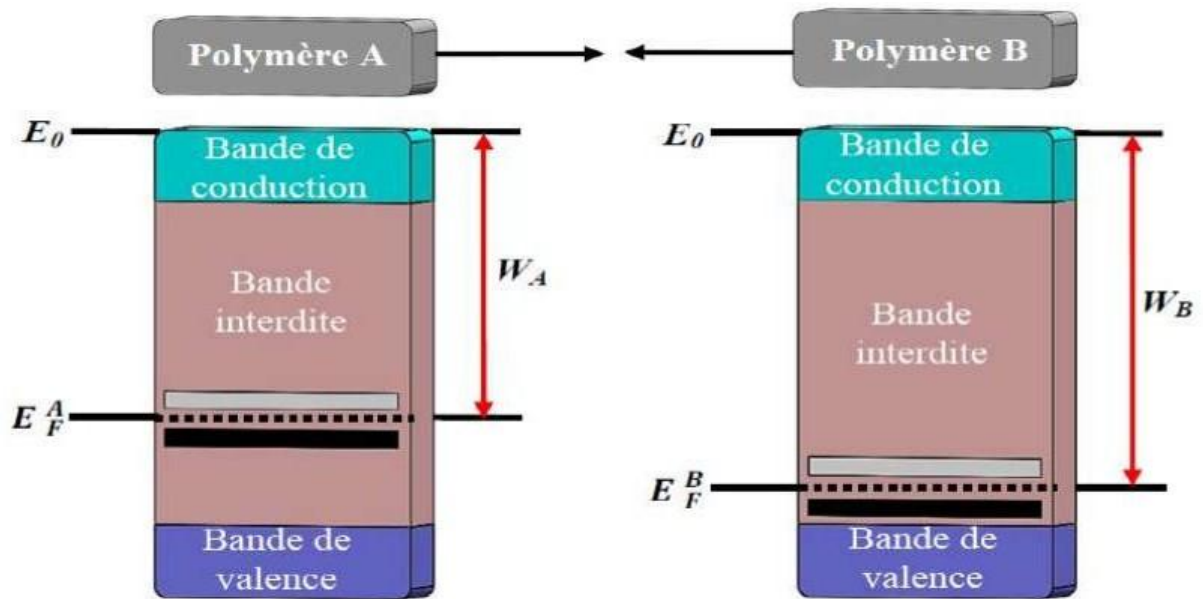


Figure II.3 : Modélisation des niveaux superficiels des polymères en triboélectrisation.

Quand deux matériaux isolants entrent en contact, des échanges d'électrons se produisent entre les différents niveaux d'énergie libres localisés à la surface des deux matériaux. Dans le même matériau, la théorie suppose que les électrons dans un état d'énergie élevée (les états occupés) ne sont pas capables de redescendre seuls, par transition, vers des niveaux plus bas en énergie (les états vides), même si cela est favorisé thermodynamiquement, en raison de la grande différence entre les énergies de deux niveaux qui sont très localisés à la surface du matériau. Ainsi, si deux matériaux isolants sont frottés l'un contre l'autre, il se produira un transfert d'électron à l'interface par effet tunnel d'un isolant à l'autre ou des états occupés de haute énergie rencontrent des états vides de basse énergie. Cet échange d'électrons permet aux deux matériaux de se rapprocher de l'équilibre thermodynamique [32].

La Figure II.5 montre le transfert d'électrons entre deux polymères isolants en contact jusqu'à un moment où les niveaux Fermi s'égalisent.

Le polymère A est caractérisé par un travail d'extraction faible W_A se charge positivement par rapport au polymère B qui est caractérisé par un travail d'extraction W_B . Le processus de triboélectrisation prend fin par l'accumulation de la charge « q » à l'interface et par renforcement du champ électrique de contact E_C dans l'intervalle x , jusqu'à l'équilibre

thermodynamique (les niveaux Fermi E^A, E^B sont égaux). $F F$

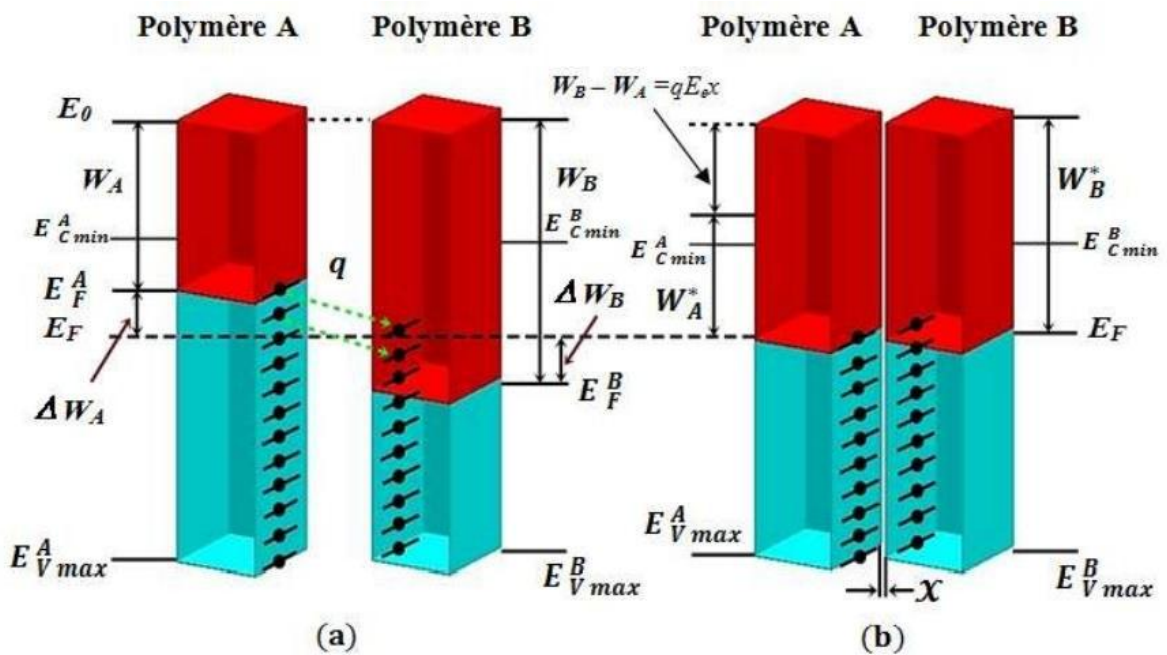


Figure II.4 : Diagrammes des niveaux d'énergie qui expliquent la triboelectrification de deux polymères de différentes matières par la théorie des niveaux superficiels de haute densité : (a) avant le contact ; (b) durant le contact [15].

Dans la nature, la matière est électriquement neutre. C'est-à-dire, les charges positives (des protons) sont égales aux charges négatives (des électrons). Du point de vue de la structure de matière, le processus de triboelectrification est généralement le responsable du transfert de charge entre les mêmes ou les différents matériaux [32].

L'électrification ou le chargement par contact est un phénomène mal compris, caractérisé par le transfert de charge à partir d'un matériau à l'autre quand ces deux matériaux sont mis en contact puis séparés. Pratiquement, il n'est pas habituellement facile de distinguer les procédés de chargement, et donc le terme "chargement triboélectrique" est employé dans un large sens. La compréhension des mécanismes physiques de génération de charges par contact n'est pas totale, ils sont assez bien connus pour les interfaces métal/métal et métal/isolant, mais ils restent généralement méconnus et complexes pour les interfaces isolant/isolant.

Le transfert de charge peut se produire par des électrons, des ions ou par le transfert de matière.

Il n'est pas encore clair lequel de ces mécanismes de transfert de charge est le plus dominant.[32]

II.5. Phénomène chargement diélectrique :

Toute matière est composée d'atomes qui contiennent à leur tour des charges positives et négatives d'égale quantité. Lorsqu'un matériau est soumis à un champ électrique, venant d'une distribution de charge surfacique ou provenant d'un champ extérieur, ses molécules internes, composées de charges liées, se trouvent sous l'action d'une force électrique qui tend à les orienter dans la direction du champ. Ainsi, les charges négatives sont pausées dans le sens inverse au champ et les charges positives dans le même sens du champ de sorte que le matériau devient chargé positivement sur une face et négativement sur l'autre.[33]

Dans les matériaux polaires, tels que le polyamide, le polychlorure de vinyle ou la résine époxy, des dipôles existent même en absence de champ. Ces dipôles résultent de la déformation du nuage électronique le long d'une liaison chimique dissymétrique. En l'absence de champ, ces dipôles sont en règle générale orientés aléatoirement, et par conséquent, la polarisation macroscopique est nulle. Sous l'effet d'un champ électrique appliqué, ces dipôles sont soumis à un couple qui tend à les orienter dans sa direction. La polarisation produite par l'orientation dipolaire étant importante, la permittivité des matériaux polaires est supérieure aux matériaux apolaires.[33]

Dans les matériaux apolaires, tels que le polyéthylène ou le polycarbonate, il y a absence de dipôles lorsque le champ est nul. Les dipôles se forment suite à un champ appliqué par les phénomènes suivants: (i) la déformation des nuages électroniques autour des noyaux, se traduisant par le déplacement relatif des nuages dans le sens inverse par rapport au centre du noyau (positive), et donc inversement au champ ; (ii) la liaison ionique (exemple le NaCl) se déforme et mènent au déplacement des centres de charges comme précédemment.[33]

On distingue quatre types de polarisation (*figure II.5*) [32.33] : électronique, atomique, d'orientation, dite de Debye, et interfaciale. Chacune de ces polarisations contribue à la valeur de la permittivité relative, les deux premières étant des polarisations de déformation.[32.33]

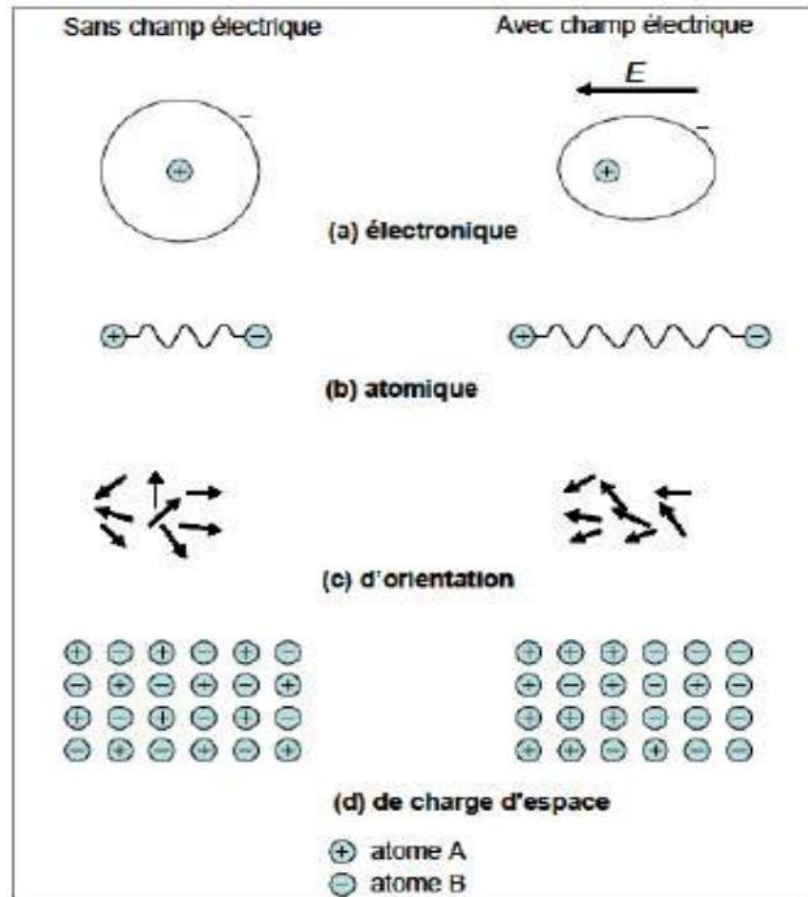


Figure II.5 : Représentation schématique des quat

Chapitre III

l'étude de générareur de tension

II.1 Introduction:

La source d'alimentation est le héros méconnu de la conception de circuits électroniques, car il s'agit d'un dispositif qui convertit d'une tension à une autre plus appropriée pendant le processus d'alimentation, et son importance est évidente dans la haute qualité lorsque nous essayons d'exploiter une mauvaise source d'énergie, comme c'est le cas avec la majorité des circuits utilisés dans les appareils électroniques tels que les radios, les ordinateurs, les chargeurs, etc. Certains de ces appareils ont besoin de haute tension et d'autres ont besoin de basse tension, car les sources d'énergie nous permettent de faire utilisation optimale de l'énergie électrique et créer des opportunités pour faire fonctionner des appareils électroniques et autres.[34]

Parmi les nombreuses topologies de transformateurs qui existent à notre époque actuelle dans le domaine de l'électronique, la topologie flyback est l'une des structures les plus utilisées en raison de sa simplicité et de son faible coût, tout en offrant plusieurs avantages pour les applications électroniques modernes, malgré l'émergence de plusieurs nouvelles topologies, mais les transformateurs flyback sont restés C'est le choix commun. .[34]

III.2. La Conception du FLYBACK :

Avant de concevoir un circuit flyback, les valeurs d'entrée applicables doivent d'abord être déterminées. Le tableau suivant présente un résumé des entrées de circuit qui seront abordées dans cet article.

Conception d'entrée	value
Input voltage (V_{IN})	0V to 12V
Output voltage (V_{OUT})	16kV
Output current (I_{OUT})	1A
Operation mode	DCM
Ripple factor (K_{FR})	1
Maximum duty cycle (D_{MAX})	0.5
Switching frequency (f_{SW})	14.4kHz
Estimated efficiency (η)	80%

Tableau(01): l'entrée de circuit flyback

Excelsheet détermine les calculs du transformateur et définit les valeurs du circuit que vous souhaitez concevoir. Il vous suffit de lui donner les valeurs d'entrée et il se chargera du calcul. Il a été conçu par le fabricant du transformateur.[35]

SMPS (Switch Mode Power Supply) : C'est un système qui augmente ou diminue la tension selon les besoins, car il est considéré comme le premier choix des concepteurs dans le domaine de l'énergie.

Dans cette partie, nous avons conçu un circuit électrique qui permet une tension allant jusqu'à 16kV.

III.2.1. Générateur AC/DC : Les générateurs **AC/DC** sont des circuits électriques qui convertissent une entrée de courant alternatif (**AC**) en une sortie de courant continu (**DC**). Les convertisseurs **AC/DC** sont également appelés "redresseurs" ; Ils convertissent la tension d'entrée alternative en une tension continue variable, puis l'optimisent à travers un filtre pour obtenir une tension continue régulée.[36]

Les alimentations **AC/DC** sont devenues indispensables dans la vie ces dernières années, en raison du développement de la technologie de l'électronique de puissance. Cette technologie d'électronique de puissance traite et contrôle le flux d'énergie électrique pour fournir courant et tension sous une forme parfaitement adaptée aux exigences de l'utilisateur final. De nombreuses applications réelles dépendent de cette conversion. Les convertisseurs **AC/DC** sont utilisés dans les systèmes de contrôle de processus industriels, les appareils grand public, les équipements de mesure, les

Équipements de fabrication de semi-conducteurs, les dispositifs médicaux et les applications de défense. Par exemple, dans une maison intelligente, les appareils électriques appliquent des dispositifs de conversion **CA/CC** efficaces pour atténuer les pertes d'énergie et réaliser des économies importantes. Ci-dessous, nous fournirons des informations plus détaillées sur les adaptateurs **AC/DC**.[36]

Le processus de conversion passe par quatre étapes, à savoir :

• **1^{er} étape Abaisseur de la tension :**

Le courant alternatif prend une forme périodique avec une tension de 220V et une fréquence de 50/60Hz, comme le montre la figure 1.

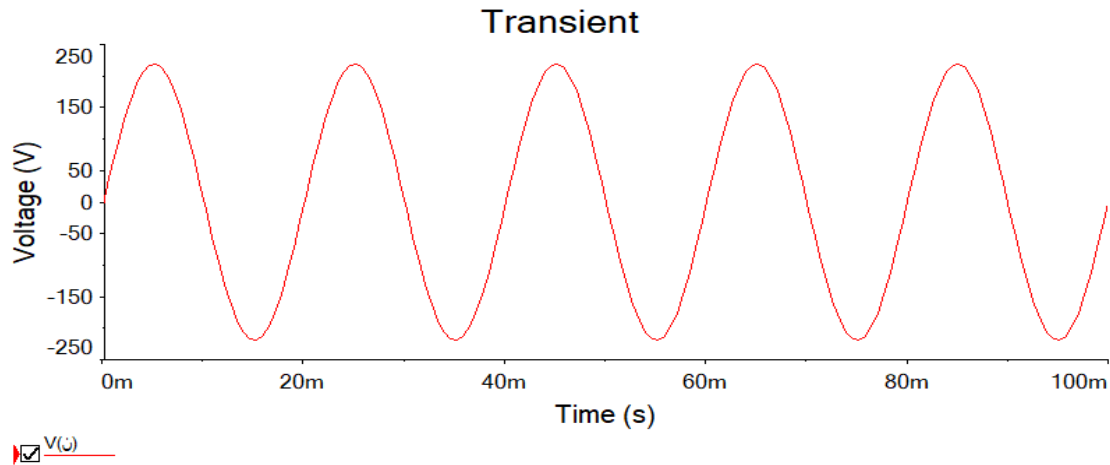


Fig.(III.1) Signal de AC 220V

À l'aide d'un transformateur abaisseur de tension, nous avons réduit la valeur de la tension de 220V à 48V.

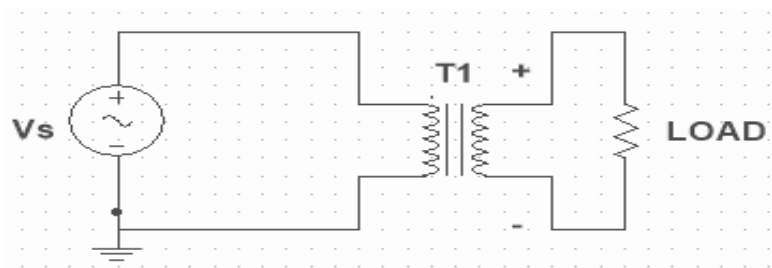


Fig.(III.2) Branchement de Vs avec Transformer

Ce processus a été effectué de la manière suivante : Le courant alternatif traverse la bobine primaire du transformateur électrique, ce qui entraîne la génération d'un champ magnétique le long du fil. Ce dernier est transmis à travers le noyau , de sorte que le processus inverse se produit dans la bobine secondaire, où le champ magnétique résultant de la bobine primaire coupe le fil de la bobine secondaire, et une tension électrique.

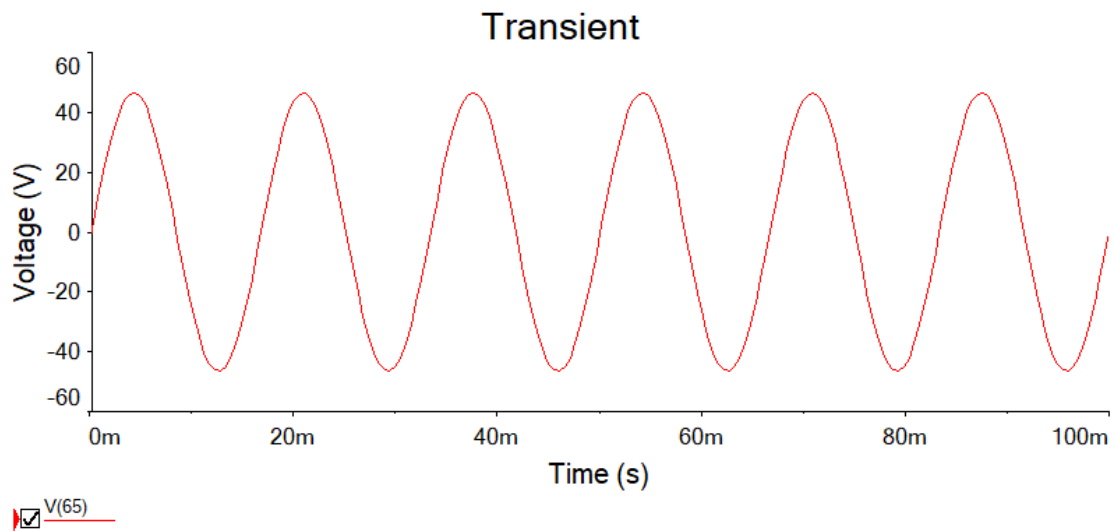


Fig.(III.3) signal AC 48V

- **2em étape : C'est redressement pleine onde.**

❖ **Diode :** Une diode est un composant électronique qui permet au courant de circuler dans un sens tout en le bloquant dans le sens opposé. C'est un dispositif à deux bornes avec une borne positive (anode) et une borne négative (cathode).

Le type de fusible le plus courant est la diode semi-conductrice. Les diodes semi-conductrices ont un certain seuil de tension, connu sous le nom de chute de tension directe, qui doit être dépassé pour que le courant la traverse dans le sens direct. Lorsque la tension aux bornes de la diode est inférieure à la chute de tension directe, la diode est dans un état non conducteur et se comporte comme un circuit ouvert.

Les diodes ont diverses applications dans les circuits électroniques. Certaines des utilisations courantes incluent :

Rectification : Les diodes sont couramment utilisées dans les circuits redresseurs pour convertir le courant alternatif (**AC**) en courant continu (**DC**) en permettant au courant de circuler dans une seule direction.

Protection : les diodes sont utilisées pour la protection contre les inversions de polarité ou les pointes de tension dans les circuits. Par exemple, une diode peut être placée dans une configuration polarisée en inverse pour protéger les composants sensibles des dommages dus à la tension inverse.

Démodulation du signal : les diodes peuvent être utilisées dans les systèmes de radio et de communication pour extraire les informations des signaux modulés en les démodulant.[37]

Régulation de tension : les diodes Zener, qui sont des diodes spécialement conçues avec une tension de claquage spécifique, peuvent être utilisées comme régulateurs de tension pour maintenir un niveau de tension stable dans un circuit.

Portes logiques : les diodes sont utilisées dans la construction de portes logiques, qui sont les éléments constitutifs des circuits numériques. Ils peuvent être utilisés pour effectuer des opérations logiques telles qu'AND, OR et NOT. [37]

Dans l'ensemble, les diodes sont des composants électroniques fondamentaux qui jouent un rôle crucial dans le contrôle du flux de courant dans les circuits électroniques, permettant une large gamme d'applications dans les systèmes électroniques et électriques. [37]

❖ **Diode Bridge** : est un pont composé de quatre diodes qui unifie la polarité de la production, quelle que soit la polarité du revenu, c'est-à-dire la transformation de la forme d'un revenu chanteur composé de deux parties négatives et de la valeur de la variable de valeur et de la direction À une seule partie qui est positive (c'est-à-dire qu'elle est devenue constante de la direction mais c'est toujours une valeur variable, cette étape est appelée étape redressement.[37]

Après l'étape d'abaissement de tension, nous effectuons un redressement pleine onde à l'aide d'un pont de diodes. Il s'agit de la méthode la plus courante de redressement des circuits pour un courant a un seul sens.

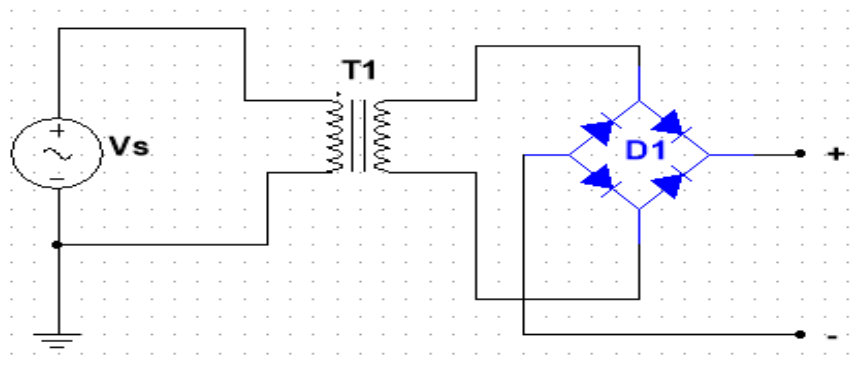


Fig.(III.4) Branchement $V_s, T1$ avec Pont diod

Dans ce cas, la vanne prend 0.7V de la valeur de V_s , soit :

$$V_K = V_s (0.7 * 2) - V_s \quad (\text{III.1})$$

$$V_K = 48 * 0.7 * 2 - 48 = 19.2v \quad (\text{III.2})$$

V_k : tension de perte de diode.

V_s : tension de source.

Autrement dit, la valeur de la tension V_+ à la sortie du pont est :

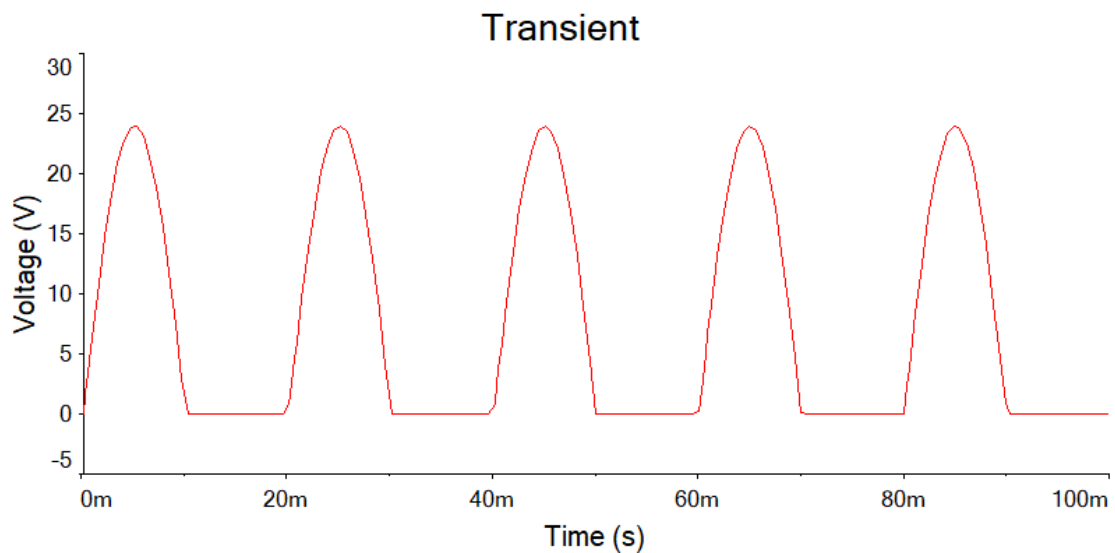
$$V_+ = V_s - V_d \quad (\text{III.3})$$

$$V_+ = 48 - 19.2 \quad (\text{III.4})$$

$$V_+ = 28.8V \quad (\text{III.5})$$

V_+ : tension qui sortie a pont diode.

Ainsi, nous nous sommes débarrassés des ondes négatives et elles sont devenues égales à zéro, après que le courant était cyclique, maintenant c'est dans le sens positif uniquement.



• **3em étape : filtrage de la tension rectifiée.**

• **Définition de Capacité :** C'est l'un des composants des circuits électriques. C'est un dispositif qui stocke l'énergie électrique ou la charge électrique pendant une période de temps sous la forme d'un champ électrique. Il se compose de deux plaques conductrices, chacune portant une charge électrique d'amplitude égale et de signe opposé.[38]

La charge électrique est alors épuisée ou dissipée dans le temps. Les deux panneaux sont séparés par un matériau isolant (tel que l'air).

Lorsqu'il est installé **C1** dans un circuit électrique, il peut décharger momentanément la charge qui y est stockée et il peut être rechargé.[38]

$$C_1 = 1\mu F \tag{III.6}$$

Lors de la connexion du condensateur **C1** à la sortie du pont comme indiqué sur la figure.

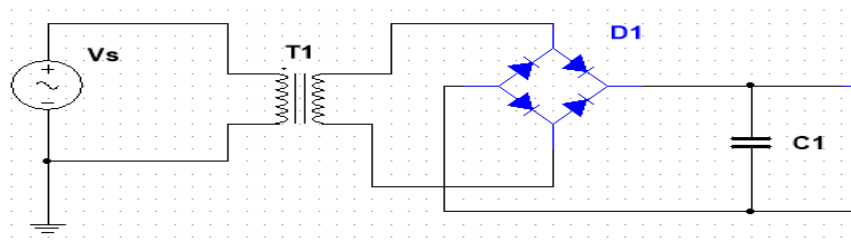


Fig.(III.6) Branchement C1

les ondes de courant s'améliorent, car la valeur du courant n'atteint pas zéro comme indiqué dans la forme.

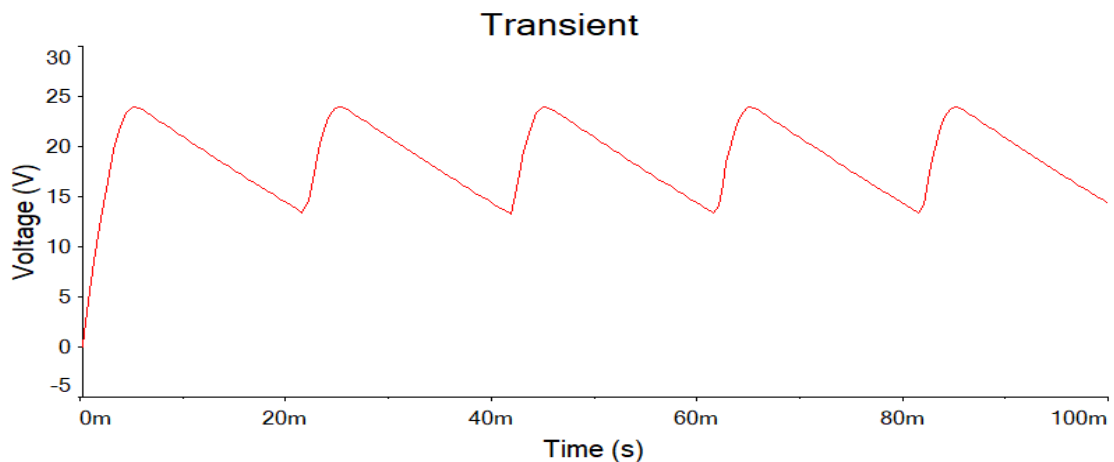


Fig.(III.7) Signal de filtrage

Mais le signal de courant est toujours ondulé. On connecte le circuit à un régulateur de tension de type **LM7812** pour obtenir un courant constant,

Le régulateur nous donne un courant constant de 12V, de cette façon nous avons un circuit qui convertit 220V alternatifs en 12V continus, ce qui est représenté dans la figure suivante.

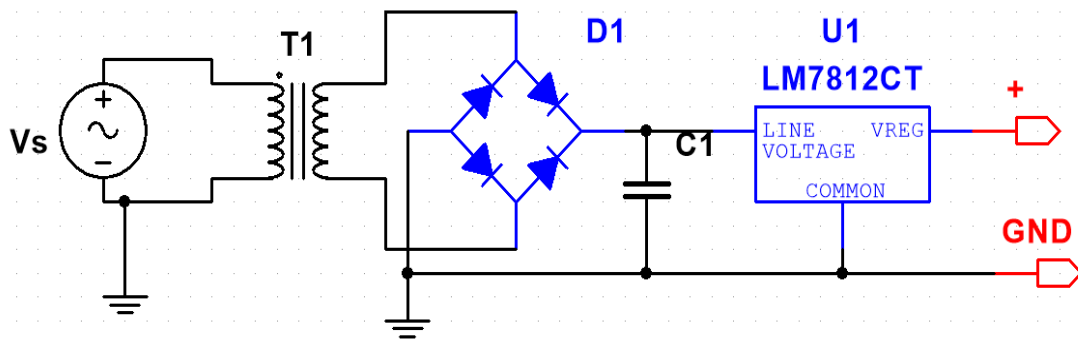
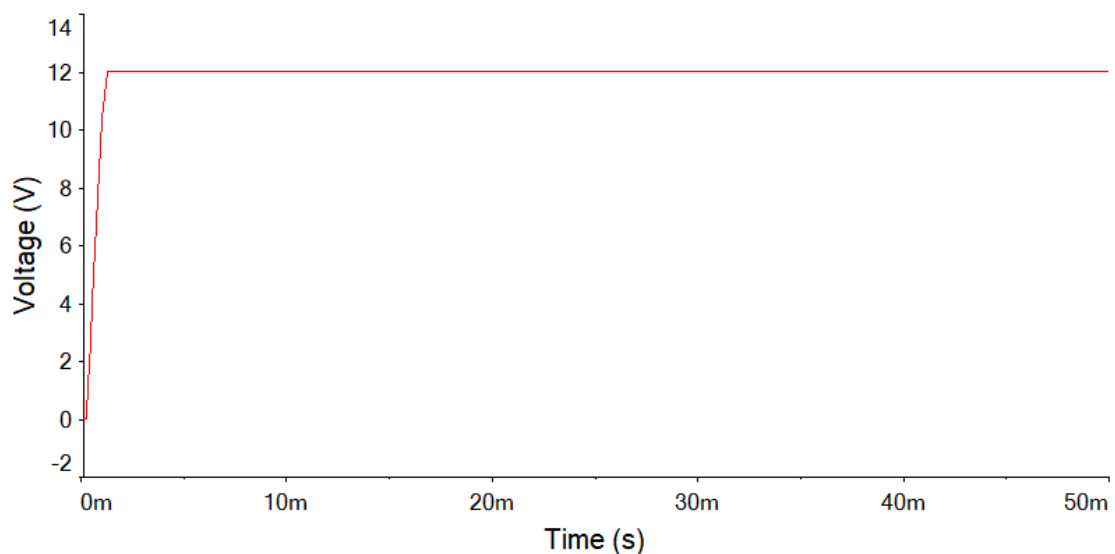


Fig.(III.8) AC-DC CONVERTRE

Après avoir branché le régulateur de tension, on obtient un courant continu de 12V.



Fig(III.9) Signal DC 12V

III.2.2. Générateur du pulse : également connu sous le nom de générateur d'impulsion, est un dispositif électronique utilisé pour produire des impulsions électriques de forme spécifique, telles que des impulsions rectangulaires ou des impulsions de durée variable.[39]

- **Oscillateur :** est un appareil qui produit un signal qui se répète régulièrement sur une période de temps spécifiée. L'oscillateur est utilisé dans de nombreuses applications

différentes en science et technologie. L'une des applications les plus importantes de l'oscillateur est l'électronique où il est utilisé pour générer des signaux d'horloge dans des appareils électroniques tels que des ordinateurs et des téléphones portables.

Il existe différents types d'oscillateurs qui varient selon leur conception et leurs applications. L'un des exemples courants d'oscillateur est un oscillateur électrique qui est utilisé pour générer un signal électrique qui résonne dans une plage de fréquences spécifique. Ceci est réalisé en utilisant des composants électroniques tels que des condensateurs et des résistances dans les circuits du pulses.[40]

• **Oscillateur 555 (timer 555) :** Il a été nommé par ce nom car il contient trois résistances d'une valeur de 5 kilo ohms en interne, Ce type d'oscillateur est considéré comme le plus largement utilisé dans les circuits PWM en raison de ses nombreuses caractéristiques, notamment :

- La fréquence de fonctionnement maximale atteint jusqu'à 500 kHz.
- Max Voltage Input 18V
- Le temps est de plusieurs micro à plusieurs heures.
- Il peut être utilisé comme une Monostable, Bistable ou Astable.
- La valeur d'un courant allant jusqu'à 200 mAh.[41]

Fabrication	Numéro de type
ECG Philips	ECG955M
Exar	XR-555
Fairchild	NE555
Harris	HA555
Intersil	SE555
Lithic Systems	LC555
Maxim	ICM7555
Motorola	MC1455/MC1555
National	LM1455/LM55C
NTE Sylvania	NTE955M
Raytheon	RM555/RC555
RCA	CA555/CA555C
Sanyo	LC7555
Texas instruments	SN5255/SN72555

Tableau (02): types de minuteur 555

Nous livrons le **Minuteurs (timer 555)** avec une tension continue de 12V avec :

$$R_1 = 2K\Omega ; R_2 = 4K\Omega ; R_3 = 100\Omega ; C_2 = 100nF ; C_f=10nF$$

T_{on} : C'est le temps pendant lequel le courant passe, et il est contrôlé par R_1 et R_2 avec la relation suivante :

$$T_{on} = 0.693(R_1 + R_2)C_2 \tag{III.7}$$

T_{off} : C'est le temps pendant lequel aucun courant ne passe, et il est contrôlé par R_2 avec la relation suivante:

$$T_{off} = 0.693.R_2.C_2 \tag{III.8}$$

• **Duty cycle** : Elle exprime la valeur moyenne de la tension résultant du cisaillement et est donnée par la relation :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \% \tag{III.9}$$

$$D = \frac{R_1+R_2}{R_1+2R_2} * 100 \tag{III.10}$$

$$D = \frac{2+4}{2+2*4} * 100 = \frac{6}{10} * 100 = 0.6 * 100 \tag{III.11}$$

$$D = 60\%$$

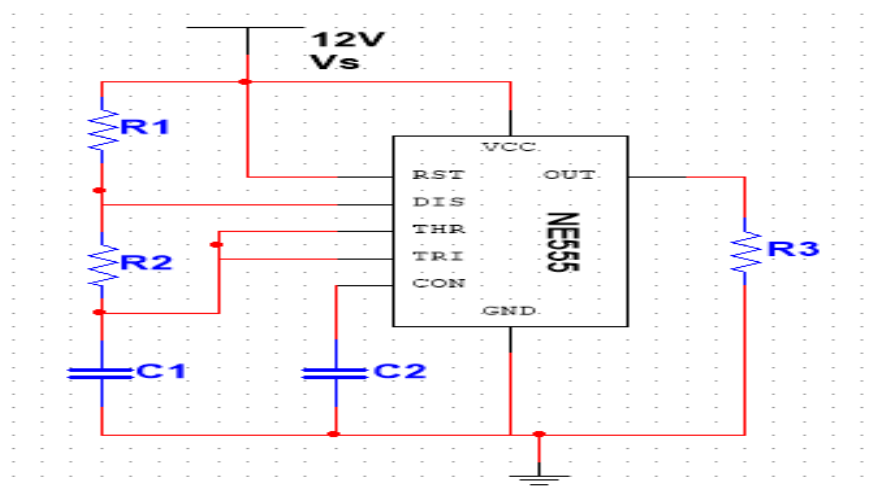


Fig.(III.10) générateur du pulse.

- L'équation de fréquence est donnée par la relation suivante :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2.R_2)C_1} \quad (\text{III.12})$$

$$f = \frac{1.44}{(2 + 2 * 8) * 100} \quad (\text{III.13})$$

$$f = 14.4 \text{ KHz} \quad (\text{III.14})$$

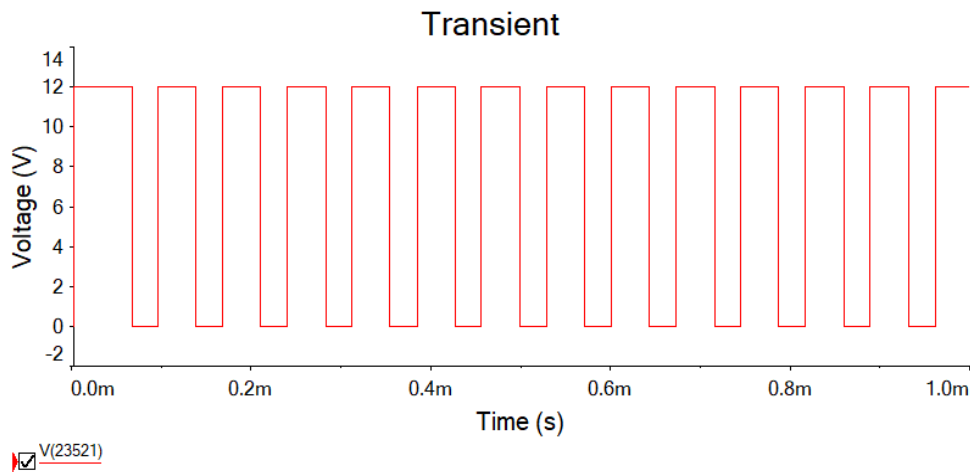


Fig.(III.11) signal fréquence

Cette technique est appelée **PWM** (Pulse Width Modulation).

PWM : C'est une technique utilisée pour contrôler la valeur moyenne d'un signal en modulant sa largeur d'impulsion. Il est largement utilisé dans de nombreuses applications, notamment l'électronique de puissance, le contrôle moteur et les systèmes de communication.[42]

Le principe de base du **PWM** consiste à générer un signal d'onde carrée avec une fréquence fixe, dans laquelle la largeur ou la durée de la partie haute (ON) de la forme d'onde, connue sous le nom de rapport cyclique, est modifiée. Le rapport cyclique est le rapport du temps de fonctionnement à la période totale de la forme d'onde.[42]

En ajustant le rapport cyclique, la tension ou la puissance effective délivrée par le signal **PWM** peut être contrôlée. Lorsque le rapport cyclique est élevé, le signal passe plus

de temps à l'état activé, ce qui entraîne une tension moyenne ou une puissance de sortie plus élevée. Au contraire, un faible rapport cyclique réduit la tension ou la puissance moyenne.[42]

Branchement Command de Porte (Gate Drive) et Coté Base (Low Side) :

- **Command de Porte (Gâte Drive) :** Il est destiné a connecter le porte **G** de **MOSFET** au générateur d'impulsions afin de contrôler la synchronisation de son travail la figure (III.12).

- **Coté Base (Low side) :** Il destiné a connecter le porte **S** de **MOSFET** a la terre la figure (III.13).

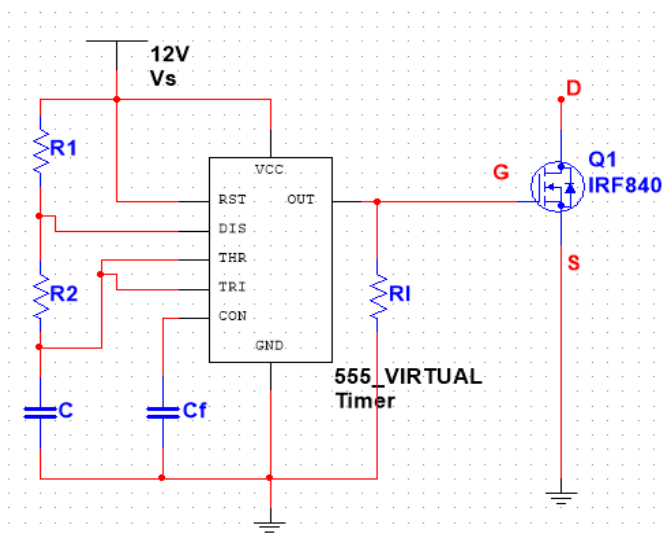


Fig.(III.12) Gate Drive.

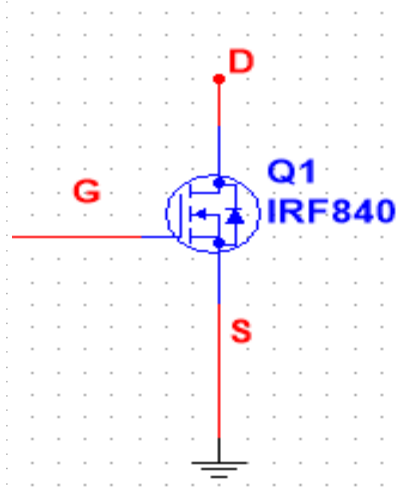


Fig.(III.13) Low Said.

Après avoir préparé les circuits entourant le flyback (fig.(III.8) ; fig(III.12) ;), nous connectons l'extrémité **S** du MOSFET à la terre et l'extrémité **G** au générateur d'impulsions variables comme indiqué sur les deux figures.

Nous connectons la partie supérieure de la bobine primaire du flyback à l'alimentation 28,8 V obtenue du convertisseur **AC/DC**, et quant à la partie inférieure, nous la connectons à l'extrémité de la perceuse **MOSFET** comme indiqué ci-dessous.

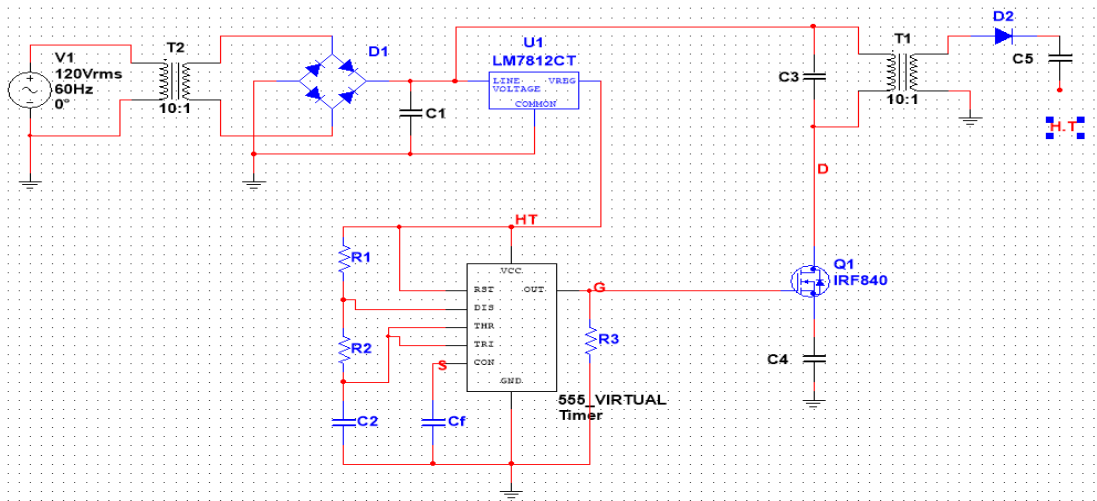


Fig.(III.14) Circuit de Flyback Converter

III.2.3 Flyback convertter :

Le courant I_p interrompu traverse l'enroulement primaire du transformateur, ce qui entraîne un flux magnétique estimé à :

$$H = N . I_p \tag{III.15}$$

H : Flux magnétique.

N : Nombre des tours de la première bobine.

I_p : le courant qui traverse sur la première bobine.

Ce dernier conduit à la génération d'un champ électrique dans la bobine secondaire avec un nombre de spires élevé et le rayon du fil est très petit, ce qui rend la haute tension, ce qui s'exprime par l'équation :

$$\frac{N_1}{N_2} = V_{ro} \frac{1}{V_2 + V_f} \tag{III.16}$$

N_1 : Nombre des toures primère ; N_2 : Nombre des toures .

V_{ro} : La tension de retour au moment de la déconnexion du **MOSFET**

V_2 : La tension de sortie ; V_f : Tension de diode dans la bobine secondaire.

Nous avons deux cas :

- **1^{er} cas État ouvert MOSFET** : Le MOSFET reçoit des impulsions de la borne G via le générateur d'impulsions, car il est considéré comme responsable de l'activation et de la

désactivation du MOSFET. Après le processus de découpage, le courant revient à nouveau dans l'enroulement primaire et une tension V_1 est générée, qui est donnée par la phrase suivante :

$$V_1 = L di/dt \quad (\text{III.17})$$

Lorsque le courant traverse la bobine primaire, il se forme une énergie électromagnétique qui conduit au passage du courant I_p de la bobine primaire à la bobine secondaire, et la direction de cette dernière I_s est proportionnelle à la direction de I_p , et voici le rôle de la diode D_2 où I_s n'est pas autorisé à traverser la bobine primaire, et donc I_s est stocké dans le condensateur C_5 .

En bref, dans le cas de T_{On} , nous avons dans la bobine primaire I_p et V_1 , et dans la bobine secondaire, nous n'avons que V_2 , où V_2 est dans le sens opposé, c'est-à-dire négatif figure (III.15).

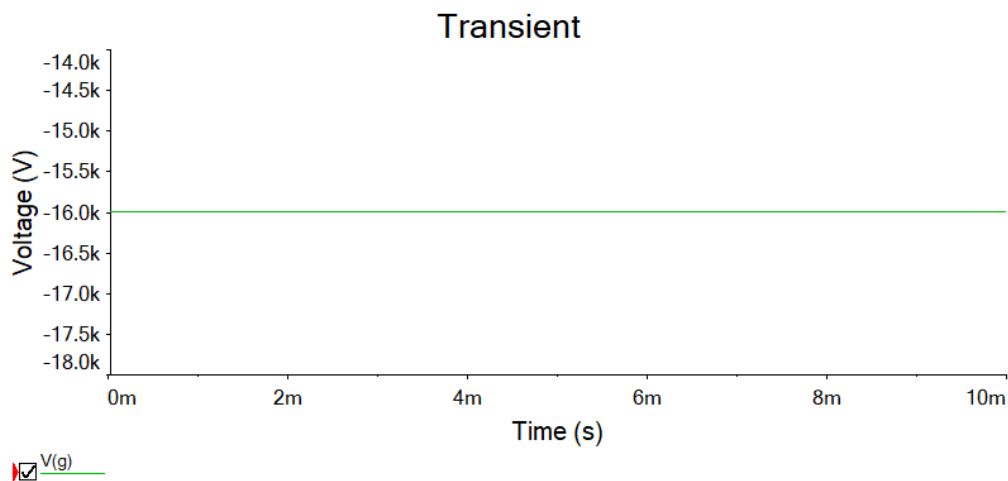


Fig.(III.15) Haut tension.

- 2^{eme} État ouvert MOSFET :

Lorsque le MOSFET est fermé, le courant dans la bobine primaire I_p est coupé et un courant est généré dans la bobine secondaire I_s , ce qui signifie que le transformateur flyback a toujours du courant, que ce soit dans la bobine primaire ou secondaire, et c'est ce que nous appelons le mode continu figure (III.16)

Bien qu'il n'y ait pas de courant dans la bobine primaire, la bobine primaire reste chargée. Le condensateur C_3 effectue une décharge rapide des charges pour éviter la saturation avant de s'ouvrir à nouveau.

chapitre IV

L'étude expérimentale du séparateur électrique

VI.1 Introduction :

Le processus de séparation électrostatique est considéré comme l'une des méthodes les plus efficaces dans le processus de séparation des matériaux isolants et des matériaux métalliques, car il a montré les résultats expérimentaux réalisés par les chercheurs au cours des dernières années. Ce processus et sa précision sont dus aux dimensions de la sondes haute tension, ainsi que la polarité des électrodes, ainsi que les vitesses initiales d'éjection dans le champ électrique.[43]

Nous avons abordé dans ce chapitre l'analyse des résultats expérimentaux du séparateur électrique, ainsi que la réalisation du procédé de séparation en utilisant la construction du séparateur électrique en déterminant la qualité de la séparation en utilisant la construction du séparateur électrostatique en utilisant un cylindre tournant.

VI.2. Le principe de fonctionnement du séparateur électrostatique :

Le processus de séparation utilisant le séparateur électrostatique utilisant le cylindre rotatif est l'un des dispositifs de séparation électrostatique les plus importants, car il se compose principalement de (1) électrode principale, (2) tambour tournant, (3) électrode de décharge couronne, (4) anode reliée à la terre.

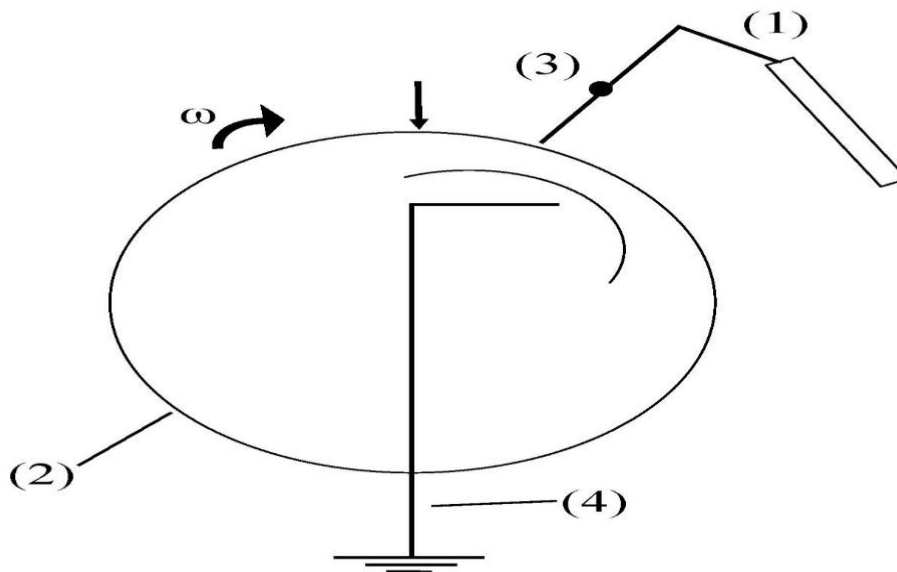


Fig.(VI.1). Séparateur électrostatique.

L'électrode principale (1) attachée à la source de la haute tension (**HT**) conduit une décharge couronne sur la surface du cylindre en rotation, de sorte qu'elle se charge superficiellement. Lorsque la charge électrique est projetée sur la surface du cylindre, le cylindre est exposé à un groupe de forces qui affectent le trajet des charges déposées à la surface du cylindre. [44]

VI.3. Forces agissant sur les particules séparées :

Les expéditions sont soumises à plusieurs forces [C].

VI.3.1 Forces du champ électrostatiques :

$$F_e = q_{ind}E \quad (4_1)$$

E : champ électrique crée par électrode.

q_{ind} : charge de granule.

VI.3.2. Force image électrique :

$$F_i = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(2d)^2} \quad (4_2)$$

d : distance séparant.

VI.3.3. Forces mécaniques :

VI.3.3.1. Force centrifuges :

$$F_e = mw^2R \tag{4_3}$$

VI.3.3.2. Force de pesanteur :

$$F_g = m.g \tag{4_4}$$

Avec :

m : masse de particule.

w : vitesse angulaire du cylindre.

g : gravitation

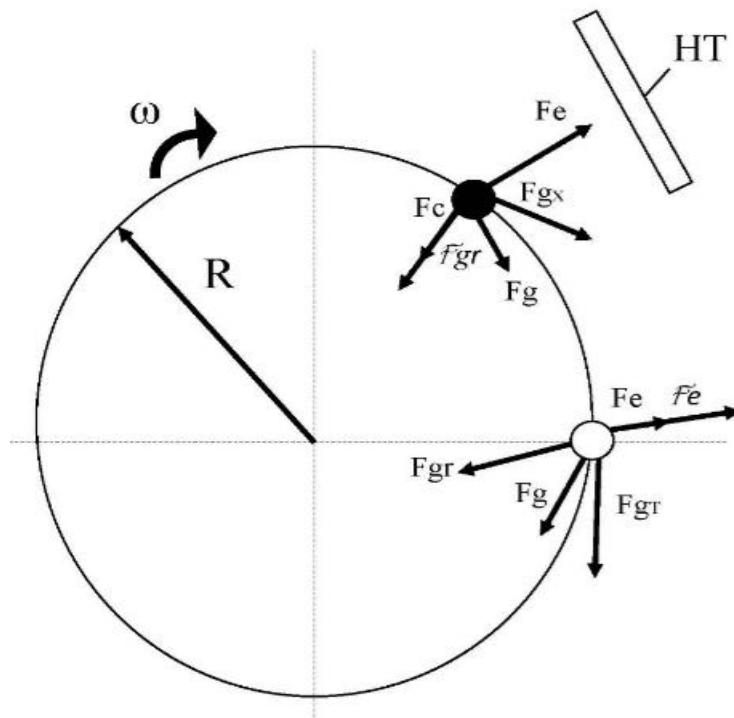


Fig.(VI.2). Les forces agissant sur le séparateur cylindrique.

VI.4. Dimensions du séparateur électrique utilisé dans l'expérience de construction du séparateur :

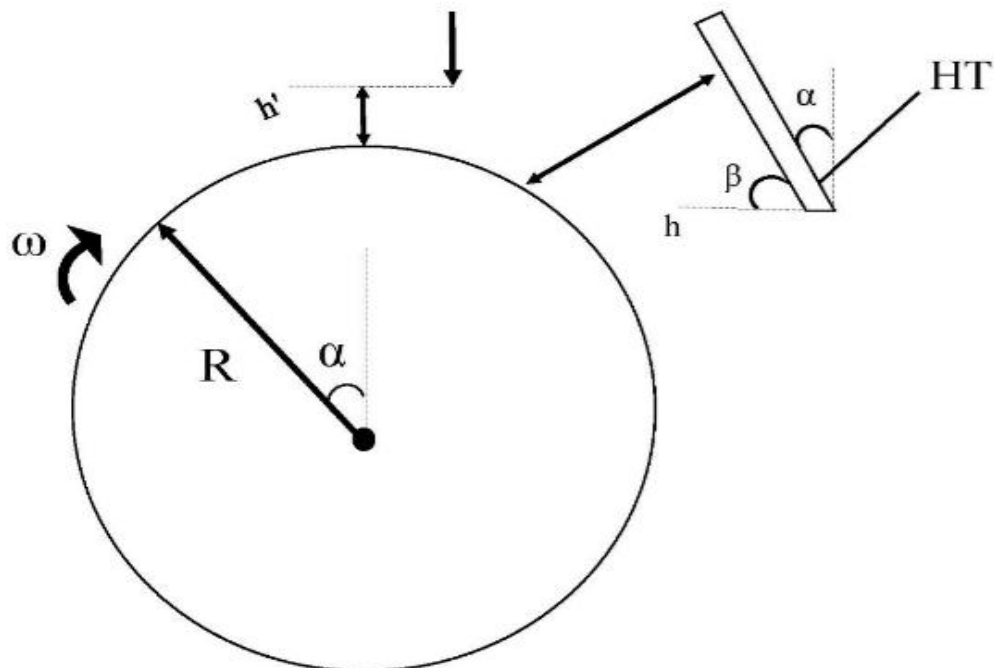


Fig.(VI.3). Dimensions du séparateur.

$R = 200\text{mm.}$

$h = 3.5\text{cm.}$

$h' = 1\text{cm.}$

$\beta = 30^\circ.$

$\alpha = 30^\circ.$

$W_1 = 40 \text{ tr/min.}$

$W_2 = 60 \text{ tr/min.}$

$W_3 = 80 \text{ tr/min.}$

$W_4 = 100 \text{ tr/min.}$

$HT = 10\text{KV jusqu'à } 20\text{KV.}$

Par courir par un courant l'électrode principal, qui est construit sous la forme de clous rectangulaires, il est indiqué avec une faible épaisseur et un petit diamètre de courbure de sortie.

Où le processus de construction du Electrode avec la haute tension négative a été achevé comme indiqué sur l'image .(VI.4).

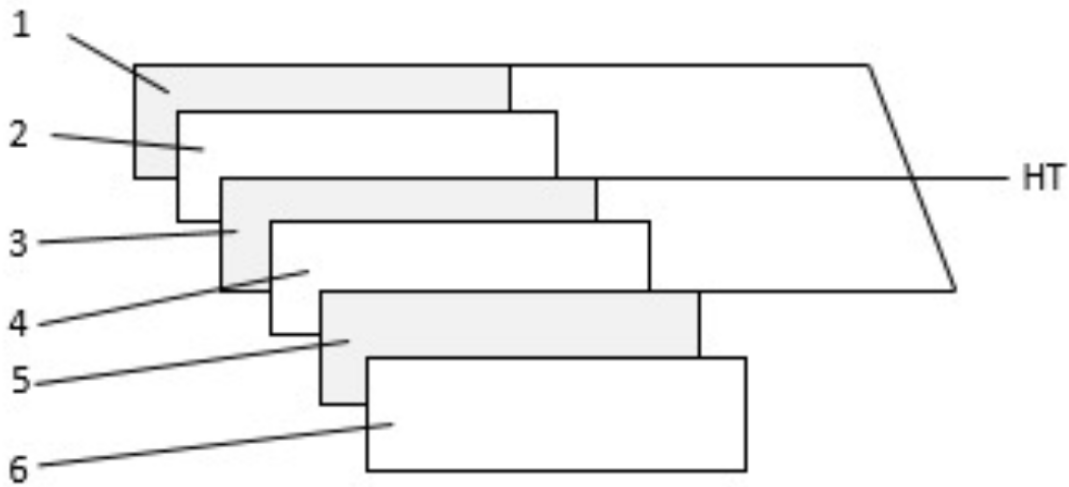


Fig.(VI.4) électrode de haut tension.

Nous avons étudié le mouvement de la charge à travers des études préalables du mouvement des charges électriques qui ont été réalisées précédemment, où l'équation du chemin de la charge chargée a été déterminée [43.44.45].

L'équation de la distance parcourue déterminée par le chercheur Tilmatin :

Intervalle :

$$x_{i+1} = 0.5\alpha_x(x_i; y_i)dt^2 + V_x(x_i; y_i)dt + x_i \quad ..(4.5).[45.46]$$

Véhicule :

$$y_{i+1} = 0.5\alpha_y(x_i; y_i)dt^2 + V_y(x_i; y_i)dt + y_i \quad .(4.6). [45.46]$$

Accélération :

$$\gamma_y(x_i, y_i) = \frac{KLE(x_{i-1}; y_{i-1})E_x(x_{i-1}; y_{i-1})}{L\rho\pi r^2} \quad .(4.7). [45.46]$$

$$\gamma_y(x_i, y_i) = \frac{KLE(x_{i-1}; y_{i-1})E_x(x_{i-1}; y_{i-1})}{L\rho\pi r^2} - g \quad (4.8). [45.46]$$

$$V_x(x_i; y_i) = \gamma_x(x_{i-1}; y_{i-1})dt + V_x(x_{i-1}; y_{i-1}) \quad .(4.9). [45.46]$$

$$V_y(x_i; y_i) = \gamma_y(x_{i-1}; y_{i-1})dt + V_y(x_{i-1}; y_{i-1}) \quad .(4.10). [45.46]$$

VI.5. Analyse appliquée de l'expérience.

Au cours des travaux appliqués, nous avons construit sur la base d'études préalablement réalisées, car ses sources sont importantes [43,44,45] pour déterminer le fonctionnement du mécanisme de séparation électrostatique utilisant l'électricité statique. où les résultats des études précédentes ont prouvé l'efficacité de la séparation électrique des matériaux, et grâce à la richesse des informations, nous avons atteint un construction qui simule le processus de séparation des matériaux isolants et métallique , et nous essayons d'appliquer le séparateur électrique avec un cylindre rotatif, car ce dernier nous permet d'introduire plusieurs variables telles que la modification de la vitesse de rotation et la projection avec une vitesse angulaire initiale variable pour déterminer l'étendue de la chute des charges dans le séparateur électrique pour déterminer les sorties des matériaux séparés qui feraient la séparation processus réussi. Nous avons également simulé et produit un circuit électrique qui réaliserait le processus de séparation en tant que générateur de tension continue à haute tension qui fournirait le champ électrique qui se forme en le connectant à une électrode de diamètre mince à haute tension. Ainsi, entre chaque électrode et la suivante, il y a un isolant électrique d'une épaisseur de 3 mm et un diamètre de courbure de l'électrode principale Il est très mince, environ 0,4 mm, afin d'assurer des événements explosifs de polarité négative sur anode . Nous avons également pu construire un circuit électrique qui est considéré comme une source de haute tension à polarité négative, car ce dernier se caractérise par son efficacité en saison grâce à de nombreuses études.[46]

Le processus de séparation des charges électriques dans le champ électrique est automatiquement une chaîne contrôlée par la quantité de charge des matériaux dans le séparateur électrique. Notre étude s'est appuyée sur le processus de charge des matériaux selon deux méthodes, toutes deux efficaces. mode de chargement des matériaux par friction à l'aide d'un tube cylindrique rotatif, ainsi que chargement efficace par accélération de l'air (Airo-tripo Electric), comme ce dernier accélère les particules à l'aide d'une source d'air telle qu'un dépoussiéreur, et à travers toutes ces conditions initiales, nous avons isolé le séparateur électrique pour empêcher les influences extérieures d'affecter le processus de séparation, car l'air extérieur est considéré comme une perturbation de la quantité de charge placée dans le séparateur ainsi que la régulation des lignes de champ électrique et la prévention des interférences de celles-ci.

VI.6. Matériel utilisé :**VI.6.1 Séparateur électrostatique (Tambour Rotative) :**

La figure (VI.5) montre une construction que nous avons installée et qui simule le processus de séparation des matériaux plastiques et métalliques. La figure montre un tambour (1) d'un diamètre de 200 mm relié à un moteur électrique (2), et ce dernier est connecté à un variateur de vitesse (3) pour contrôler la vitesse de séparation. La figure montre également le pôle. Le principal 3 a un faible diamètre de courbure, (électrode) sur l'anode allant de 2,0 cm à 3,5 cm. L'image indique également le circuit électrique de haute tension avec polarité négative (4).

(5) Désigne l'anode reliée à la terre, car elle est recouverte d'une couche d'aluminium d'égale densité à la surface du cylindre pour lui permettre d'attirer plus d'ions que les charges négatives qui se trouvent sur la surface du cylindre en rotation. Cet environnement nous permet de créer une surface chargée sur le cylindre.



Fig.(VI.5). Séparateur.

Le numéro 6 apparaît sur la figure (VI.5) au dispositif de charge d'air, où le générateur d'air (7) assure une vitesse constante de l'air, puis ce dernier extrude les matières métalliques et plastiques pour charger les matières à l'intérieur du tube, qui a une paroi intérieure rugueuse, et une collision des particules à séparer se produit dans la paroi intérieure, donc cela se produit. Avec cela, la plus grande quantité de frottement de matériau avec le tube intérieur, et donc les matériaux sont chargés à l'intérieur du tube, les charges se déposent à l'extérieur du tube dans le abaisseur de vitesse d'air (8), où il a été fait avec plusieurs petits trous pour empêcher l'air de suralimentation d'atteindre le séparateur

électrique, ainsi que pour s'assurer que les particules arrivent de manière directe et les jettent dans le séparateur électrique directement.

VI.6.2. Échantillons à séparer :**Fig.(VI.6) matériaux métalliques****Fig.(VI.7). matériaux plastique.****Fig(VI.8).Mélange de matières plastiques et métalliques.**

Nous avons préparé des échantillons de séparation d'un poids total d'environ 100g figure (VI.8).car ils se partageaient à parts égales (50g de matériaux métalliques figure (VI.6) 50 g de matériaux plastiques figure (VI.7).

Lorsque ces échantillons minéraux comprenaient de la limaille de fer de différentes tailles afin d'étudier l'ampleur de la chute de matières minérales dans différentes gammes en fonction de leurs tailles et de leurs poids, et à ce titre, nous avons préparé des échantillons

plastiques de polyéthylène utilisé dans la fabrication de bouteilles en plastique, car ces derniers étaient préparés comme des déchets banals et par un grand pourcentage.

VI.7. Étude expérimentale:

Les étapes pratiques appliquées ont été basées sur l'étude de l'effet de la vitesse de rotation du cylindre et la détermination de la vitesse la plus appropriée dans le processus de séparation pour chaque taille de particule à séparer. Des recherches antérieures ont prouvé [43.44.45] que la vitesse idéale pour lancer les charges dans le séparateur électrostatique sont comprises entre (40tr/min, 60tr/min, 80tr/min 100tr/min).

En conséquence, nous avons mesuré la vitesse de séparation grâce à un variable de tension électrique de type hacheur, car ce dernier nous permet de nous déplacer de manière fluide et efficace dans la détermination des vitesses évoquées précédemment. En conséquence, les matériaux plastiques et métallique ont été chargés dans le dispositif tribo-électrique, car ce dernier nous permet de charger les particule de manière efficace. Nous jetons les particule dans un champ Electricité de 16KV à polarité négative, où trois vitesses ont été déterminées 40tr/min, 60tr/min ainsi que 80tr/min, et nous avons déterminé le pourcentage de matériaux séparés pour chaque vitesse en pourcentage.



Fig.(VI.9). Processus de séparation (sous le séparateur électrostatique)

VI.7.1 Analyse des résultats:

Les résultats expérimentaux de projection de charges électriques dans le champ électrique de 16 KV avec une polarité négative et à une vitesse initiale du cylindre rotatif de 60 tr/min ont montré qu'il existe trois régions différentes. [43]

Zone n.(1) °

Matières Métallique.

Zone n.(2) °

Le milieu comprend un mélange de matériaux métalliques, et matériaux plastiques.

Zone n.(3) °

Matériaux plastiques.

VI.7.2 Interprétation des résultats :

- **Attraction** : Lorsque des charges de polarité négative sont envoyées à l'électrode, les morceaux de métallique chargés positivement sont attirés dans la direction de l'électrode négative, et chaque objet est attiré en fonction de la quantité de sa charge.

- **Répulsion** : Référez-vous à la dispersion des plastiques chargés négativement avec l'électrode chargée négativement.

- **Gamme mixte** : Les résultats de l'expérience ont montré que le processus de séparation n'a pas lieu dans sa première étape, car cette gamme est le résultat de plusieurs influences externes, une référence du processus de séparation.

VI.8. Conclusion.

Les résultats expérimentaux ont montré l'efficacité de la séparation électrique et la facilité de son application, ainsi que son efficacité comme [43.44.45].

Vitesse de rotation du tambour Le facteur optimal dans notre processus de séparation est actuellement de 60 tr/min.

La polarité négative dans le processus de séparation est une [48] efficace.

Le processus de séparation des matières plastiques ne passe pas par la première étape, et les résultats expérimentaux ont montré qu'il existe une gamme différente de matières minérales et plastiques.

Conclusion général

Conclusion générale

Le processus de séparation électrostatique est une méthode les plus importantes et les plus efficace .[45]

Le dépôt de charges de polarité négative est efficace car il accélère les molécules de l'air telles que l'oxygène et l'hydrogène, ces deux éléments ayant un pourcentage élevé dans l'air.[48]

Les transformateurs flayback en ferrite nous ont permis d'obtenir une polarité négative pour la haute tension, car ces transformateurs nous permettent un champ électrique d'environ 25 mm.

Les circuits de coupure de courant de 14,4 KHZ nous ont permis de créer une couronne polaire dans le vide où la moitié du rayon de courbure du chemin mince croise la vitesse des charges électriques de la couronne.

Les résultats expérimentaux ont montré la mesure dans laquelle le processus de séparation peut être appliqué et la facilité de ses circuits électriques, car il est considéré comme l'un des processus de séparation les plus précis, et cela est dû à la quantité de charge des matériaux, ce dernier est une référence qui se préoccupe de mentionner parce que les matériaux séparés ont une structure interne différente, donc leur chute dans le champ électrique à une vitesse initiale est différente, tout comme le poids et l'apparence extérieure..[43.44.45]

Références

Références

- [1] : <https://www.conservation-nature.fr/ecologie>
- [2] : <https://www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/valorisation-energetique>
- [3] : <https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/passer-a-laction/eviter-production-dechets/reemploi->
- [4] : <https://lelementarium.fr/focus/matiere>
- [5] : <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-des-materiaux/polymeres/materiaux-polymeres-architecture-macromoleculaire>
- [6] : <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-polymere-803/>
- [7] :)-fontanille-gnanouy, chimie et physico chimie des polymères /dumod, paris, paris, 2013.
- [8] : Caractéristiques physico-mécaniques des composites bois-plastiques provenant de la valorisation des résidus des panneaux MDF : étude des possibilités de recyclage.
- [9] :)- [http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/Ms Création d'une entreprise de Tri et de Recyclage](http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/Ms%20Cr%C3%A9ation%20d'une%20entreprise%20de%20Tri%20et%20de%20Recyclage). univ-tlemcen.dz.
- [10] : recyclage de déferents types des matériaux
<http://www.geo.fr/environnement/recycler-materiaux-38403>
- [11] : K.S.Rebeiz, A.P.Craft, 1995.plastic waste management in construction: technological and institutional issues. Resources, conservation and recycling 15,245-257
- [12] : <https://ecoinfo.cnrs.fr/2014/09/03/3-le-recyclage-des-metaux/>
- [13] : "Plastic Types, Properties, Uses, Classification" sur polymerinsights.com "Types of Plastics" sur thoughtco.com.
- [14] : Journal officiel de la République Algérienne : N  50 du 28 août 2001, page19.
- [15]
<https://www.google.dz/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.infociments.fr%2Fbetons%2Fcaracteristiques-et-types-de-granulats&psig=AOvVaw3MULImPF->
- [16] : <https://www.simco-ion.fr/downloads/propos-de-lelectricite-statique>

[17] : livre: Déchets Médicaux et Pharmaceutiques au Maroc Livre publié en 2011
Préface de Omar CHERKAOUI.

[18] : <https://www.simco-ion.fr/downloads/propos-de-lelectricite-statique>

[19] : <https://www.simco-ion.fr/downloads/propos-de-lelectricite-statique>

[20] : S. Fayeulle, D. Tréheux, J. Bigarré, J. Vallayer, "Effect of space charge on the friction behavior of dielectrical materials", supplément à la revue Le vide : science, technique et applications, N° 275 , pp. 74-83, 1995.

[21] : A.G. Evans, In " The Sciences of Ceramic Machining and Surface Finishing II", Eds. B.J.Hockey and R.W.Rice, National Bureau of Standards special Publication 562 (US Government Printing Office, Washington D.C), pp. 1-15, 1979

[22] : J. Bigarré, "Effet des impuretés sur la charge d'espace dans l'alumine.
Application au

frottement", Thèse de l'Ecole Centrale de Lyon 1996.

[23] : B. Vallayer, "Développement d'une méthode de caractérisation des matériaux isolants: la méthode du miroir. Application à l'étude des propriétés de charge d'oxydes", Thèse de l'Ecole Centrale de Lyon 1995.

[24] : G. Blaise, and C. Le Gressus, "Charging and Flashover induced by surface polarization relaxation Process", J.App.Phy. Vol. 69, pp. 6334-6339, 1991.

[25] : Y. Berriche, J. Vallayer, R. Trabelsi, D. Tréheux, "Severe wear mechanisms in Al₂O₃-AlON ceramic composite", J. Eur. Ceram. Soc, pp. 1311 -1318, 2000.

[26] : ELLOUMI Imen, "Caractérisation des propriétés diélectriques du bois et des composites boispolymères", Mémoire de la maîtrise en ingénierie, Université du Québec en Abitibi Témiscamingue, 2016

[27] : R. Fournie, "Les isolants en électrotechnique, concepts et théories". Paris: Editions Eyrolles, 1986.

[28] : Forward, K. M., Lacks, D. J., & Sankaran, R. M. "Triboelectric Charging of Granular Insulator Mixtures Due Solely to Particle– Particle Interactions.", Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 48(5), pp. 2309-2314, 2008

Références

[29] : Shaw, P. E. "Experiments on tribo-electricity. I.—The tribo-electric series.", Proc. R. Soc. Lond. A, vol. 94(656), pp. 16-33, 1917

[30] : Matsushita, Y., Mori, N., & Sometani, T. "Electrostatic separation of plastics by friction mixer with rotary blades.", Electrical engineering in Japan, vol. 127(3), pp. 33-40, 1999

[31] : Escalante, S. L., Touchard, G., & Dominguez, G. "Electrification study in dielectric

material fluidized beds for different fluidization regimes ", In Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Annual Report Conference on. IEEE, pp. 694-697, 2002.

[32] : McCarty, L. S., & Whitesides, G. M. "Electrostatic charging due to separation of ions at interfaces: contact electrification of ionic electrets.", Angewandte Chemie International Edition, vol. 47(12), pp. 2188-2207, 2008.

[33] : Hammi, T. "Étude de méthodes de mesures et réalisation d'un banc de test pour l'évaluation des propriétés électrostatiques des textiles ", Thèse de Doctorat, Université de Lille 1, 2005

[34] : [Power](#) Marilyn Wolf, in [Embedded System Interfacing](#), 2019

[35] : <https://www.mediafire.com/file/bgqox1iz3gid2c3/Transformer.rar/file>

[36] : <https://www.mornsun-power.com/html/news-detail/blog-posts/404.html#:~:text=AC%20FDC%20converters%20are%20electrical,obtain%20an%20unregulated%20DC%20voltage>

[37] : : <https://www.youtube.com/watch?v=4wwOIJVxlD8&t=932s>

[38]

[https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%83%D8%AB%D9%81_\(%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A1\)](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%83%D8%AB%D9%81_(%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A1))

[39] : : <https://chat.openai.com/>

[40] : <https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B0%D8%A8%D8%B0%D8%A8>

[41]

https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D8%AD%D8%A7%D8%AF%D9%8A_%D8%A7

Références

[%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D9%82%D8%B1%D8%A7%D8%B1_%D9%85%D8%AA%D8%B9%D8%AF%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B0%D8%A8%D8%B0%D8%A8%D8%A7%D8%AA](#)

[42] : <https://chat.openai.com/>

[43] : journal of électrostatique 61 (2004) 21-30 Tilmatine complément de procédé mécanique de recyclage de déchets industrielle.

[44] : Mémoire (2014-2015) Centre universitaire Ain-Temouchent Pr. Younes Mohammed

[45] : Simulation numérique des trajectoire des particules métallique dans le séparateur couronne électrostatique a tambour volume 47, nombre 1 , 2006

[46] : journal of King Saoud université science (2015) 27 233-238. Mokhtare houssaine Tayeb Imrane, Designe and construction.

[47] : Séparation électrostatique des particules un technologie efficace pour industrie de recyclage 06-09-2003 N°22 Tilmatine .

[48] : these, etude exprimentale de declin potoniel surfasique de matherio isolant.2021. Unive Annaba, Zenina Mohamed Laid, Lazhar Haroun