

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre : M...../GE/2020

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Option : Energie Renouvelable

Présenté par :

Benchenina Ibrahim Abdelmadjid

Intitulé du sujet

**Conception et réalisation d'un collecteur de bouteilles en
plastique alimenté par un système photovoltaïque**

Rapporteur : Dr. S. REZINI MCB Université de Mostaganem

Membres du jury :

Président : Dr. F. BECHIRI MCB Université de Mostaganem

Examineur : Dr. L. GHOMRI MCA Université de Mostaganem

Année Universitaire 2019/2020

Résumé

La forte augmentation du prix du pétrole a engendré une élévation du cout des matières plastiques énormément utilisées dans l'industrie. Ces dernières elles sont en concurrence avec les autres matériaux. La production croissante des déchets plastiques et l'évolution de leur composition engendre beaucoup de problèmes. Parmi ces problèmes nous citons les problèmes environnementaux, économiques et sociaux. Dans notre travail nous proposons la réalisation d'un prototype qui facilite la collète des bouteilles en plastique. Pour ce faire trois phases ont été adoptées : conception, dimensionnement et la réalisation du prototype.

Mots-clés

Panneau photovoltaïque, déchets plastiques, bouteille plastique, moteur asynchrone, ABAQUS, système mécanique.

ملخص

وقد أدى الارتفاع الحاد في أسعار النفط إلى زيادة في تكلفة البلاستيك المستخدمة على نطاق واسع في هذه الصناعة. وهذه الأخيرة في منافسة مع مواد أخرى. و مع زيادة إنتاج النفايات البلاستيكية وتطور تكوينها يخلق العديد من المشاكل. وتشمل هذه المشاكل مشاكل بيئية واقتصادية واجتماعية. في عملنا نقترح إنشاء نموذج نمذجي يسهل مجمعة من القارورات البلاستيكية. للقيام بذلك تم اعتماد ثلاث مراحل: تصميم، التحجيم وتحقيق النموذج الأولي

الكلمات المفتاحية

لوحة الطاقة الشمسية ، النفايات البلاستيكية، والقارورات البلاستيكية، محرك غير متزامن، والنظام الميكانيكي
ABAQUS ،

Abstract

The sharp rise in the price of oil has led to an increase in the cost of plastics widely used in the industry. The latter are in competition with other materials. The increasing production of plastic waste and the evolution of its composition creates many problems. These include environmental, economic and social problems. In our work we propose the creation of a prototype that facilitates the collage of plastic bottles. To do this three phases were adopted: design, sizing and the realization of the prototype

Keywords

Photovoltaic panel, plastic waste, plastic bottle, asynchronous engine, ABAQUS, mechanical system.

Sommaire

Introduction Générale :	1
I. Chapitre I : énergie solaire photovoltaïque.....	2
I.1. Introduction.....	2
I.2. Définition de l'énergie renouvelable	2
I.2.1 Hydraulique	2
I.2.2 Biomasse	2
I.2.3 Energie géothermique	2
I.2.4 Energie solaire	2
I.2.5 : Eolienne.....	2
I.3. Energie photovoltaïque	3
I.3.1 Historique	3
I.3.2. Effet photovoltaïque	4
I.3.3. Semi-conducteur	4
I.3.4. Silicium	4
I.4. Conversion de l'énergie solaire en électricité	5
I.4.1. Absorption de la lumière dans le matériau	6
I.4.2 Transfert de l'énergie des photons aux charges électriques	7
I.4.3 Collecte des charges.....	9
I.4.4 Diffusion et les recombinaisons des porteurs.....	10
I.5. Types de cellules photovoltaïques	10
I.6. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	12
I.6.1 Courbe courant-tension.....	12
I.6.2. Réponse spectrale	14
I.7. Modélisation électrique d'une cellule PV	16
I.8 Panneau photovoltaïque	18
I.9 Diffèrent association de module	18

I.9.1	Association série.....	18
I.9.2	Association parallèle	18
I.9.3	Association mixte.....	19
I.10.	Influence de certains paramètres sur les caractéristiques de la cellule	19
I.10.1	Effet de la température.....	20
I.10.2	Effet de l'irradiation	21
I.11.	Conclusion	23
II.	Chapitre II : Notion sur les déchets	23
II.1.	Introduction	24
II.2	Définition du terme « déchet »	24
II.3	Typologies de déchets.....	24
II.3.1	Déchets ménagers et assimilés.....	24
II.3.2	Déchets encombrants.....	24
II.3.3	Déchets spéciaux.....	24
II.3.4	Déchets spéciaux dangereux.....	24
II.3.5	Déchets d'activité de soins.....	24
II.3.6	Déchets inertes.....	24
II.4	La composition des déchets ménagers.....	25
II.5	Plastique.....	26
II.6	Processus d'élaboration des matières plastiques.....	26
II.7	Type de plastique.....	28
II.8	Polymère et polymérisation.....	28
II.9	Propriétés physico-chimiques de polymère.....	29
II.10	La production mondiale de plastique.....	30
II.11	L'utilisation du plastique.....	31
II.12	L'effet du plastique.....	31
II.12.1	Sur l'environnement.....	31
II.12.1.1	L'enchevêtrement.....	32
II.12.1.2	L'ingestion.....	32
II.12.1.3	Les dommages à l'habitat.....	32

II.12.2	Sur la société.....	33
II.12.2.1	Pollution.....	33
II.12.2.2	La gestion non réglementée des déchets plastiques..	33
II.12.2.3	L'ingestion de plastique par les humains.....	33
II.12.2.4	La contamination du sol et de l'eau.....	34
II.12.3	Sur l'économie.....	34
II.12.3.1	La pêche.....	35
II.12.3.2	Le commerce maritime.....	35
II.12.3.3	Le tourisme.....	35
II.13	Recyclage.....	35
II.13.1	Définition.....	35
II.13.2	Historique.....	36
II.13.3	Les formes de recyclage.....	36
II.13.3.1	Chimique.....	36
II.13.3.2	Mécanique.....	36
II.13.3.3	Organique.....	36
II.13.4	Les conséquences de recyclage.....	36
II.13.4.1	Ecologiques.....	36
II.13.4.2	Economique.....	37
II.13.5	Les étapes de recyclage des bouteilles plastique.....	37
II.13.5.1	Etape 01.....	37
II.13.5.2	Etape 02.....	37
II.13.5.3	Etape 03.....	37
II.13.5.4	Etape 04.....	37
II.13.5.5	Etape 05.....	37
II.13.5.6	Etape 06.....	37
II.13.5.7	Etape 07.....	37
II.13.5.8	Etape 08.....	38
II.13.5.9	Etape 09.....	38
II.13.6	Equivalence entre bouteille collectes et les résultats obtenus lorsque en les recycles	38
II.14	Conclusion.....	39
III	chapitre III : Dimensionnement et réalisation d'un collecteur de bouteille.....	41
III.1	Introduction.....	41
III.2	Problématique.....	41
III.3	Description de collecteur.....	41
III.4	Eléments de collecteur.....	42
III.4.1	Moteur.....	42
III.4.1.1	Moteurs asynchrones triphasés.....	44
III.4.1.2	Moteurs monophasés asynchrones.....	45
III.4.1.3	Moteur synchrone.....	45

III.4.1.4 Les moteurs à courant continue.....	46
III.4.2 Partie mécanique.....	48
III.4.2.1 Définition.....	48
III.4.2.2 Avantages.....	50
III.4.2.3 Inconvénients.....	50
III.4.2.4 Modélisation de système vise-écrou.....	52
III.4.3 Partie électrique.....	55
III.4.3.1 Commande du système.....	55
III.4.3.2 Dimensionnement du panneau solaire.....	57
III.4.3.2.1 Besoin énergétique.....	57
III.4.3.2.2 Caractéristiques du panneau.....	59
III.4.3.2.3 Calcul de l'énergie produite par le collecteur de bouteilles.....	60
III.4.3.2.4 Calcul de la puissance crête.....	60
III.4.3.2.5 Inclinaison et l'orientation du panneau.....	61
III.4.3.3 Les batteries.....	61
III.4.3.3.1 Principe de fonctionnement général.....	62
III.4.3.3.2 Calcul de la capacité de la batterie.....	63
III. 4.3.3.3 Calcul de nombre de batterie.....	64
III. 4.3.4 Dimensionnement de l'onduleur.....	64
III.4.3.5 Dimensionnement du régulateur.....	65
III.4.3.6 Dimensionnement des câbles.....	66
III.4.3.7 Protection du moteur.....	66
III.4.3.7.1 Dispositifs de protection.....	67
III.5 Etude technico-économique.....	68
III.6 Conclusion.....	69
Conclusion générale.....	70

La liste des figures

Figure I.1 : Source d'énergie renouvelable.....	3
Figure I.2 : Structure chimique de silicium.....	5
Figure I.3 : Coefficient d'absorption en fonction de la longueur d'onde.....	6
Figure I.4 : Représentations schématiques du gap direct (a) et du gap indirect (b).....	6
Figure I.5 : Exemples de diagramme de bande de matériaux semi-conducteurs à gap indirect (Ge, Si) ou à gap direct (GaAs).....	7
Figure I.6 : Représentation schématique des diagrammes de bandes d'un isolant, semi-conducteur et conducteur.....	8
Figure I.7 : Fraction du spectre solaire convertie en électricité par une cellule photovoltaïque en silicium cristallin (a) et matériaux optimum pour la conversion photovoltaïque(b).....	9
Figure I.8 : Structure (a) et diagramme de bande (b) d'une cellule photovoltaïque.....	10
Figure I.9 : Caractéristiques densité de courant en fonction de la tension d'une cellule PV dans l'obscurité et sous illumination.....	12
Figure I.10 : Réponse spectrale d'une cellule amorphe et d'une cellule cristalline.....	14
Figure I.11 : efficacité quantique interne (a) et réponse spectrale (b) d'une cellule au silicium amorphe caractérisée au LGEP.....	15
Figure I.12 : Schéma équivalent d'une cellule PV : modèle à deux diodes.....	16
Figure I.13 : Caractéristiques I-V d'une cellule a modèle à deux diode implémenté dans l'obscurité en échelles linéaire(a) et logarithmique (b).....	17
Figure I.14 : Circuit équivalent d'une cellule au silicium amorphe avec le terme I_{rec} qui prend en compte les pertes par recombinaison dans la couche i.....	17
Figure I.15 : Composition d'un champ photovoltaïque.....	18
Figure I.16 : Association série des cellules solaires.....	18
Figure I.17 : Association parallèle des cellules solaire.....	19
Figure I.18 : Association mixte des cellules solaire.....	19
Figure I.19 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension $I=f(V)$	20
Figure I.20 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension.....	21
Figure I.21 : Influence de l'éclairement sur les caractéristiques courant-tension.....	22
Figure I.22 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension.....	22

Figure II.1 : composition des déchets ménagers.....	25
Figure II.2 : Processus d'élaboration des thermoplastiques classiques.....	27
Figure II.4 : représente famille de plastique.....	28
Figure II.4 : Symboles des familles de thermoplastique.....	28
Figure II.5 : Structures moléculaires du PE, du PS et du PP et du PVC.....	29
Figure II.6 : représente l'enchevêtrement du plastique sur les animaux.....	32
Figure II.7 : représente l'effet du plastique sur la santé des animaux.....	32
Figure II.8 : représente l'effet du plastique sur les sols.....	33
Figure II.9 : représente la pollution par le plastique.....	33
Figure II.10 : représente l'effet du plastique sur l'être humaine.....	34
Figure II.11 : représente l'effet du plastique sur l'eau.....	34
Figure II.12 : l'effet du plastique sur la mère.....	35
Figure II.13 : logo de recyclage	36
Figure II.14 : les étapes de recyclage des bouteilles plastiques.....	38
Figure II.15 : équivalence entre emballage collectes et plastique recyclés transformé.....	39
Figure III.1 : représente le schéma de collecteur.....	42
Figure III.2 : diagramme de différent type de moteur.....	43
Figure III.3 : représente la machine asynchrone.....	43
Figure III.5 : représente les composantes de moteur asynchrone.....	44
Figure III.6 : machine synchrone.....	46
Figure III.7 : machine à courant continue.....	46
Figure III.8 : représente la face avant du système mécanique utilisé.....	49
Figure III.9 : représente le système mécanique utilisé en 3D.....	49
Figure III.10 : représente la face droite du système mécanique utilisé.....	50
Figure III.11 : représente les résultats de l'application de la pression sous ABAQUS.....	51
Figure III.12 : diagramme de changement de l'épaisseur de la bouteille d'après l'application de la pression.....	52
Figure III.13 : le système vise-écrou.....	52
Figure III.14 : représente le diagramme de puissance en générale.....	53
Figure III.15 : représente le bilan de puissance et de force détaillé.....	53
Figure III.16 : représente l'organigramme de fonctionnement de système de compression de la bouteille.....	56
Figure III.17 : le panneau solaire utilisé.....	60
Figure III.18 : la conception d'une batterie.....	62

Figure III.19 : schéma de fonctionnement de batterie.....	63
Figure III.20 : schéma de puissance et de commande de moteur.....	68

La liste des tableaux

Tableau II.1	Durée de vie de chaque type de déchet.....	19
Tableau III.1	comparaison entre les types de moteur électrique.....	25
Tableau III.2	l'irradiation de la wilaya de Mostaganem.....	48
Tableau III.3	comparaison entre différents type de batterie.....	58
Tableau III.4	les caractéristiques de la batterie utilisée.....	64
Tableau III.5	représente le cout de chaque appareil utilise.....	69

Le développement durable est une conception d'une stratégie de croissance économique qui s'inscrit dans une perspective de long terme et qui intègre les contraintes liées à l'environnement et au fonctionnement de la société. L'un des objectifs du développement durable est la nécessité de garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes avec un coût faible. Ceci est obtenu en utilisant des sources à base des énergies renouvelables, afin d'améliorer l'efficacité énergétique. Parmi ces sources nous citons l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque est obtenue à partir d'un rayonnement solaire grâce à des panneaux. Elle est dite renouvelable, car sa source (le soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. Les panneaux composés des cellules à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable.

Ces dernières décennies, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et touche chaque individu tant sur le plan professionnel que familial. En tant que consommateur, jeteur, usager du ramassage des ordures ménagères, et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets. Les déchets ont été longtemps considérés comme des résidus sans valeur, des activités de production et de consommations industrielles et ces consommateurs reconnaissent aujourd'hui que le traitement des déchets constitue l'enjeu écologique.

Actuellement, l'augmentation de la production des déchets plastique va de pair avec l'essor démographique et l'intensification des activités socioéconomiques. A ce jour, la principale voie de traitement des déchets en Algérie est la mise en décharge. Cette technique est souvent utilisée dans les pays en développement, mais elle aboutit souvent à des décharges incontrôlées et à ciel ouvert.

De ce fait dans ce présent travail, nous nous sommes intéressés de réaliser un système de collecte des déchets bouteilles en plastique.

Le travail présenté se compose de trois chapitres :

- ✚ Le premier chapitre présente un rappel bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production d'énergie solaire par les systèmes photovoltaïque.
- ✚ Le second chapitre est consacré à un bref théorique sur les déchets plastique, leurs influences sur l'environnement et ainsi que leurs gestions.
- ✚ Le troisième et dernier chapitre est dédié à la conception, au dimensionnement et la réalisation d'un collecteur de bouteilles en plastique photovoltaïque.

Enfin, ce travail sera clôturé par une conclusion générale à travers laquelle on exposera les principaux résultats obtenus et on donnera les perspectives à envisager suite à ce travail.

Chapitre I

Energie solaire photovoltaïque

II.1 : Introduction

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que les énergies renouvelables devient plus en plus une solution énergétiques prometteuse avec des avantages comme l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre quel que soit leur type.

I.2: Définition de l'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables (ou ER) désignent un ensemble de moyens de production de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou ré-constituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées.

Les principaux intérêts des énergies renouvelables sont leur non épuisement et leurs émissions très limitées de gaz à effet de serre (GES) et le réchauffement climatique. Ainsi il existe cinq grands types d'énergies renouvelables : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la biomasse et la géothermie [1].

I.2.1: Hydraulique

L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages.

I.2.2: Biomasse

Cette énergie peut en être extraite par combustion directe (ex : bois énergie), ou par combustion après un processus de transformation de la matière première, par exemple la méthanisation (biogaz, ou sa version épurée le bio-méthane) ou d'autres transformations chimiques (dont la pyrolyse, la carbonisation hydrothermale et les méthodes de production de biocarburants ou « agro-carburants »).

I.2.3: Energie géothermique

Elle désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géothermique issue de l'énergie de la terre qui est convertie en chaleur.

I.2.4 : Solaire

L'énergie solaire (thermique et photovoltaïque) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires.

I.2.5 : Eolienne

est l'énergie du vent, dont la force motrice (énergie cinétique) est utilisée dans le déplacement de voiliers et autres véhicules ou transformée au moyen d'un dispositif aérogénérateur, comme une éolienne ou un moulin à vent, en une énergie diversement utilisable [2].

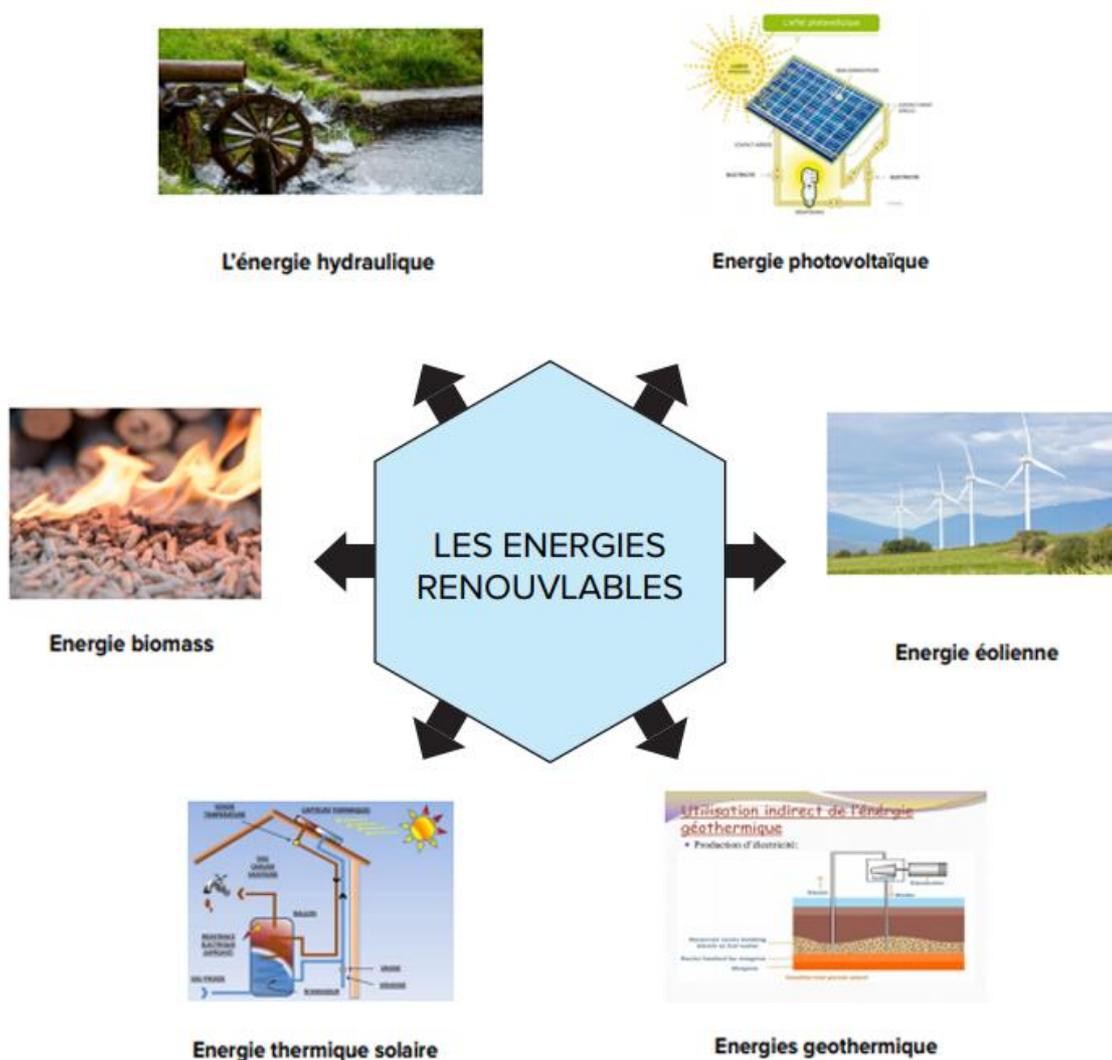


Figure I.1 : Source d'énergie renouvelable

I.3: Energie photovoltaïque

I.3.1: Historique

L'effet photovoltaïque a été découvert pour la première fois en 1839 par Alexandre Edmond Bequerel, un physicien français. Edmond a constaté que certains matériaux pouvaient produire de petites quantités d'électricité quand ils étaient exposés à la lumière. Albert Einstein se pencha sur ce travail, en 1905, il publie un papier sur le potentiel de production d'électricité à partir de la lumière du soleil. Ce document explore l'effet PV (photovoltaïque), technologie sur laquelle est fondé le panneau solaire. En 1913, William Coblentz a posé le premier brevet pour une cellule solaire, mais il ne pourra jamais la faire fonctionner. En 1916, Robert Millikan a été le premier à produire de l'électricité avec une CS (cellule solaire). Pendant les quarante années suivantes, personne ne fit beaucoup de progrès en énergie solaire car les cellules PV savaient un trop mauvais rendement pour transformer la lumière du soleil en énergie. Le premier panneau solaire a été construit en 1954 par les laboratoires Bell. Il a été appelé batterie solaire mais c'était juste un effet d'annonce car il était trop coûteux à produire. Ce sont les satellites qui ont réellement fait avancer ES dans les années 1960 lors la course à

l'espace. Les satellites ont besoin d'une source d'énergie fiable. ES est parfaite car c'est une source d'énergie constante pour les satellites en orbite. L'industrie spatiale mis beaucoup de fonds dans le développement des PS. C'était la première utilisation importante de la technologie solaire.

Grâce à l'espace, les PS (panneau solaire) ont prouvé leur fiabilité. Le coût de production des CS a également diminué. ES a eu un second élan au cours de la crise de l'énergie dans les années 1970. Quand le prix du pétrole a augmenté de façon spectaculaire, PSPV (panneau solaire photovoltaïque) ont commencé à être utilisé pour la première fois dans les maisons. Depuis les PS se sont développés lentement. Pendant longtemps, ils ont été considérés comme des sources d'énergies alternatives. ES (énergie solaire) est de nouveau en pleine essor car on prévoit une pénurie de pétrole prochaine, on se préoccupe du réchauffement de la planète et les prix de l'énergie n'ont jamais été aussi hauts. ES devient une priorité pour de plus en plus de chaque payé. Des centrales solaires sont en cours de construction dans le monde entier. Les entreprises investissent également. Les entreprises d'électricités et les gouvernements ont offert des subventions et des réductions pour encourager les propriétaires à investir dans les PS pour leur maison. De nouveaux types de PS ont été développés : panneau solaire très fins (4 mm d'épaisseur) et flexibles, des peintures solaires. L'objectif est de réduire très fortement le coût de ES.

I.3.2: Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les CS permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaire en électricité, par le bais de déplacement des charge électrique dans un matériau semi-conducteur. Lorsque les photons heurtent une surface mince de ce matériau, le silicium il transfert leur énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettant alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique.

I.3.3: Semi-conducteur

Dans un semi-conducteur la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ces photons apportent une énergie permettant aux électrons de se déplacer, il y a donc courant électrique sous l'exposition à la lumière.

I.3.4: Silicium

Le silicium est un matériau semi-conducteur le plus courant sur terre. Un atome de silicium possède 4 électrons sur sa couche externe, deux atomes voisins peuvent mettre en commun chacun un électron et deviennent ainsi liés par une liaison covalente. Chaque atome de silicium est tétravalent, il peut se lier à 4 atomes voisins et donc former un tétraèdre. Dans un cristal de silicium pur chaque atome est entouré de quatre atomes voisins. Tous les électrons de valence du silicium participent aux liaisons chimiques, il n'y a donc pas d'électrons de conduction dans le silicium pur, contrairement aux métaux. Sur la couche externe d'un atome de silicium, aucun électron ne circule d'un atome à un autre [3].

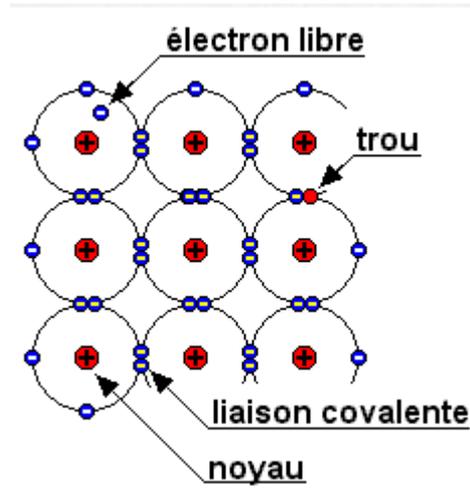


Figure I.2 : Structure chimique de silicium

I.4 : Conversion de l'énergie solaire en électricité

Le principe de la conversion photovoltaïque est basé sur rayonnement électromagnétique. Le rayonnement solaire, est composé de particules énergétiques appelées photons. Un photon, caractérisé par sa longueur d'onde et donc son énergie grâce à la relation I.1, peut être, soit transmis, soit réfléchi, soit absorbé, lorsqu'il rencontre un matériau [4].

$$E = h \cdot c / \lambda \quad (\text{I.1})$$

Avec :

h : représente la constante de Plank ($m^2 \cdot kg / s = J \cdot s$).

c : représente la célérité de la lumière (m/s)

λ : représente la longueur d'onde du photon (m).

Le rayonnement lumineux composé de plusieurs couleurs (photons d'énergies différentes) aura donc une plage de longueurs d'onde. Par conséquent, une partie du spectre lumineux sera transmise, une partie réfléchi et une autre partie absorbée lorsque la lumière rencontrera le matériau :

- ✚ La partie réfléchi dépend de l'indice de réfraction (n) des matériaux traversés. Cet indice dépend lui-même de la longueur d'onde du rayonnement mais aussi des caractéristiques du milieu. Il en découle un coefficient de Fresnel pour la réflexion. Le coefficient de réflexion à l'interface entre deux matériaux d'indice n_1 et n_2 respectivement, s'écrit comme suit:

$$R = (n_2 - n_1 / n_2 + n_1)^2 \quad (\text{I.2})$$

- ✚ Le silicium a, par exemple, un indice entre 3 et 4, ce qui correspond à un coefficient de réflexion compris entre 0.25 et 0.36, s'il était en contact direct avec l'air ($n = 1$). Plusieurs couches, d'indices intermédiaires, sont placées entre l'air et le silicium pour diminuer la partie réfléchi du rayonnement incident.
- ✚ La partie absorbée est celle qui permettra la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. La lumière est absorbée par le matériau suivant la loi de Beer-Lambert (équation (I.3)) :

$$E = E_{inc} \cdot \exp(-\alpha \cdot d) \tag{I.3}$$

Ou :

E_{inc} : représente l'intensité lumineuse incidente (W/m^2).

α : représente le coefficient d'absorption (cm^{-1}).

D : représente l'épaisseur traversée (cm).

Le coefficient d'absorption dépend du matériau et de la longueur d'onde de l'énergie incidente, comme le représente la figure I.3.

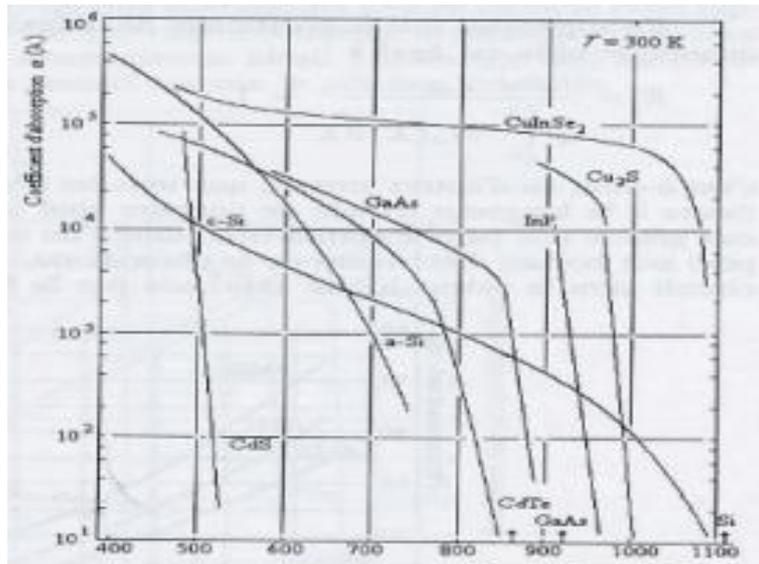


Figure I.3 : Coefficient d'absorption en fonction de la longueur d'onde

I.4.1: Absorption de la lumière dans le matériau

Pour l'absorption de la lumière, une caractéristique importante du matériau est son gap. C'est l'écart entre le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande de conduction d'un matériau. La bande de valence est présumée être entièrement occupée par des électrons et la bande de conduction entièrement vide [5].

Il existe deux types de gap : le gap direct et le gap indirect.

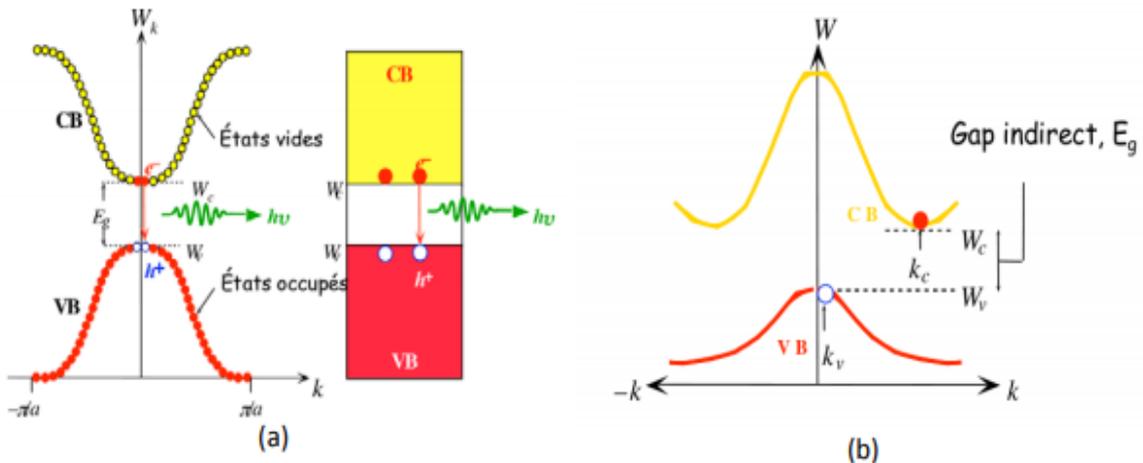


Figure I.4: Représentations schématiques du gap direct (a) et du gap indirect (b)

✚ Gap direct :

Lorsque le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence correspondent à la même valeur du vecteur d'onde (k), le gap est direct. Les transitions

inter bandes s'effectuent verticalement, et sont donc radiatives. Le GaAs, le CdTe sont des exemples de matériaux à gap direct.

✚ Gap indirect :

Pour le gap indirect la transition des extrema des bandes ne se fait pas verticalement mais de façon oblique et les transitions électroniques sont non radiatives. A énergie égale ou un peu supérieure à celle du gap, il n'est possible d'absorber le photon que grâce à l'intervention d'un phonon. Ce qui ajoute une nouvelle condition à l'absorption et diminue ainsi grandement ses probabilités. Le silicium cristallin est un exemple de semi-conducteur à gap indirect.

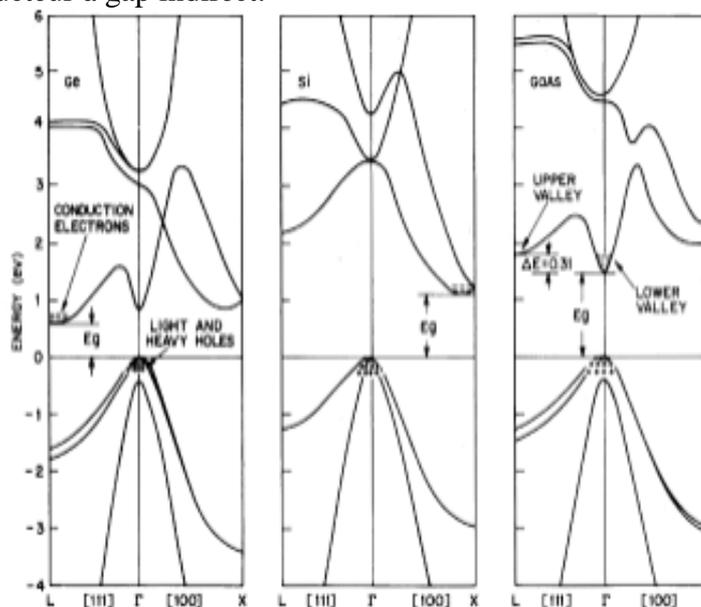


Figure I.5 : Exemples de diagramme de bande de matériaux semi-conducteurs à gap indirect (Ge, Si) ou à gap direct (GaAs)

Lorsque l'énergie du photon est inférieure à celle du gap du matériau, la transition n'est pas possible et le photon n'est pas absorbé.

L'interaction photon/semi-conducteur, dans le cas d'un photon suffisamment énergétique ($h \cdot \nu \geq E_g$), se traduit par la génération d'une paire électron-trou qui modifie localement la conductivité du matériau.

I.4.2: Transfert de l'énergie des photons aux charges électriques

Les photons absorbés vont transférer leur énergie aux électrons périphériques des atomes. Ces électrons seront alors, si l'énergie apportée par le photon le permet, autrement dit si l'énergie apportée par le photon est supérieure à celle du gap du matériau, libérés de l'attraction de l'atome. Il y aura, par conséquent, création d'un électron libre et d'un trou. Un trou correspond au comportement d'une bande entièrement pleine privée d'un électron. Pour simplifier, on assimile ce comportement à celui d'une charge positive dans une bande entièrement occupée. La circulation des électrons dans un sens et des trous dans l'autre formeront un courant électrique, lorsqu'une charge sera branchée.

Ce phénomène peut être mis en jeu dans les semi-conducteurs. Pour les isolants, soit le gap est très large et il est quasi impossible d'engendrer des paires électron-trou, c'est le cas du diamant par exemple, soit le nombre de défauts, très grand en raison de la structure amorphe du matériau, est tel que les porteurs sont constamment piégés et ne peuvent donc pas créer de courant par leur déplacement, c'est le cas du verre. Dans le cas du verre, la représentation schématique des diagrammes de bandes (figure I.5) de l'isolant n'est en réalité pas juste car, de part sa structure amorphe, les électrons ne respectent pas le schéma de bande. Ce schéma permet néanmoins de

bien comprendre la difficulté de porter un électron dans la bande de valence pour les isolants. Dans le cas du diamant si on peut engendrer des porteurs dans la bande de conduction leur mobilité est extrêmement grande et la conductivité est très grande également. Pour les conducteurs, il existe déjà une forte densité d'électrons totalement libres.

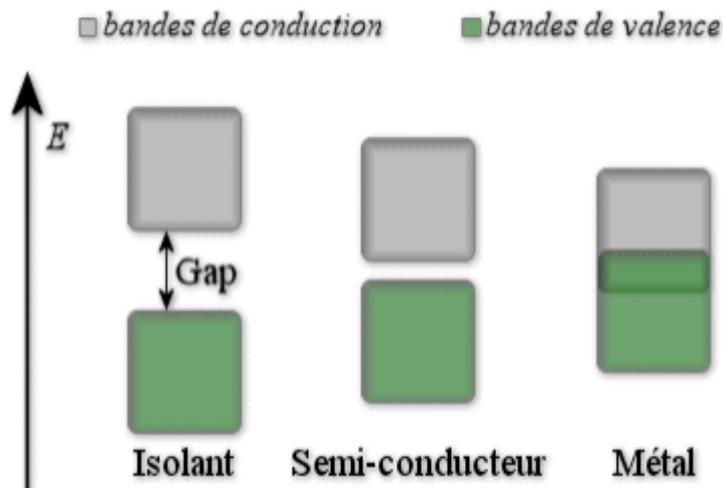


Figure I.6: Représentation schématique des diagrammes de bandes d'un isolant, semi-conducteur et conducteur

On voit clairement sur figure I.6 qu'il faut fournir une énergie au moins égale à celle du gap, qui est dépendant du matériau, pour faire monter un électron de la bande de valence à la bande de conduction et avoir création d'une paire électron-trou. De plus, l'énergie du photon supplémentaire à celle du gap, sera convertie en chaleur. On a donc création d'une paire d'électron-trou par photon au maximum.

Il y a donc deux phénomènes qui limitent le rendement théorique :

- ✚ L'impossibilité de convertir des photons d'énergie inférieure au gap optique. Le gap optique représente l'énergie minimum requise à un électron de la bande de valence pour accéder à la bande de conduction.
- ✚ La perte de l'énergie du photon qui dépasse celle du gap optique.

Cette absorption incomplète du spectre solaire, représentée sur la figure I.7, est responsable des principales pertes de rendement des cellules : si l'on additionne les pertes par absorption incomplète des photons (23.5%) et celles des excès d'énergie des photons (33%), la perte due à ces deux phénomènes s'élève à 56.5% pour du silicium cristallin dont le gap est égal à 1.12 eV. Si le gap du matériau est grand, peu de photons auront l'énergie suffisante pour créer du courant mais la tension en circuit-ouvert sera plus grande.

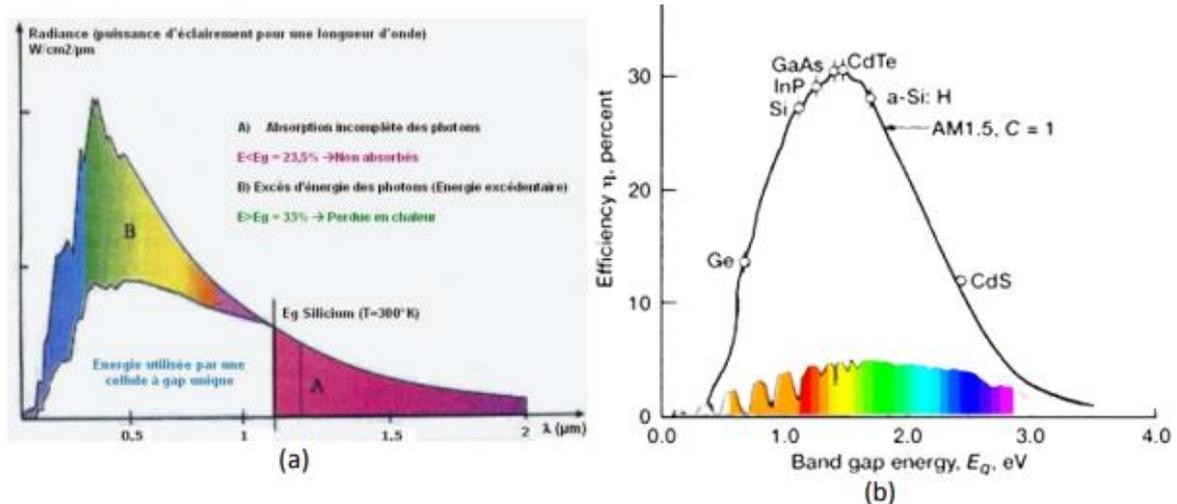


Figure I.7 : Fraction du spectre solaire convertie en électricité par une cellule photovoltaïque en silicium cristallin (a) et matériaux optimum pour la conversion photovoltaïque(b)

I.4.3: Collecte des charges

Le fait de créer des paires électron-trou ne suffit pas car celles-ci peuvent se recombiner naturellement provoquant uniquement de l'énergie thermique. Il faut séparer les charges pour qu'elles puissent circuler sans se recombiner [6].

Une solution est de créer un champ électrique dans le matériau. Pour cela, on dope une partie d'un semi-conducteur en atomes ayant un électron de valence supplémentaire par rapport à l'atome du semi-conducteur. Il y aura, dans cette partie de semi-conducteur, un excédant de charges négatives. Cette partie sera par conséquent donneuse d'électrons. On dit qu'elle est dopée de type n. Une autre partie de semi-conducteur sera dopée en atomes ayant un électron de valence de moins que l'atome du matériau semi-conducteur. Il y aura cette fois un excédant de charges positives. Le matériau deviendra alors accepteur d'électrons. On dit qu'il est dopé de type p.

La mise en contact de ces deux zones provoquera un champ électrique. En effet, les charges négatives excédentaires du matériau dopé n chercheront à rejoindre les charges positives du matériau dopé p. Et inversement pour les charges positives excédentaires du matériau p. On réalise ainsi ce que l'on appelle une jonction p-n, c'est-à-dire une barrière de potentiel dans le semi-conducteur. Les types de barrières les plus communes sont l'homo-jonction (jonction p-n dans le même semi-conducteur), l'hétérojonction (jonction p-n entre deux matériaux semi-conducteurs différents). La hauteur de barrière de potentiel et donc l'intensité du champ électrique sont diminuées par polarisation de la jonction en direct qui permet le passage de porteurs. Une polarisation inverse augmentera la hauteur de barrière. Le fonctionnement de la jonction p-n est illustré sur la figure ci-dessous :

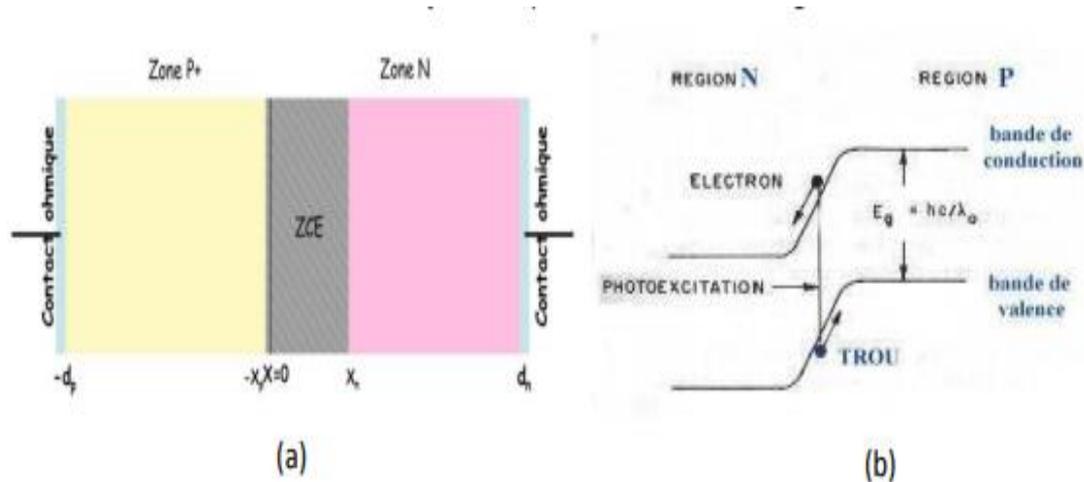


Figure I.8 : Structure (a) et diagramme de bande (b) d'une cellule photovoltaïque

Dans la zone n ou p, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont envoyés par le champ électrique dans la zone p (pour les trous) ou dans la zone n (pour les électrons) où ils seront majoritaires. Il y aura un photo-courant de diffusion.

Dans la zone de charge d'espace, les paires électrons-trous créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique. Les électrons vont aller dans la région n et les trous vers la région p. Il y aura un photo-courant de génération. Ces deux contributions s'ajoutent pour former un photo-courant résultant I_{ph} . C'est un courant de porteurs minoritaires. Il est proportionnel à l'intensité lumineuse.

I.4.4 : Diffusion et les recombinaisons des porteurs

Malgré le champ électrique créé par la jonction p-n, des recombinaisons au sein de la cellule auront tout de même lieu. Pour évaluer ces recombinaisons, qui dépendent de la qualité du matériau, on utilise la longueur de diffusion des porteurs de charge (L_d). Elle correspond à la distance moyenne que les porteurs peuvent parcourir avant de se recombiner. Elle dépend essentiellement de la qualité du matériau utilisé ainsi que de la mobilité (μ) du porteur concerné :

$$L_d = \sqrt{\tau D_{n,p}} = \sqrt{\mu_{n,p} \tau \frac{kT}{q}} \quad (\text{I.4})$$

Avec :

L_d : longueur de diffusion des porteurs (cm).

$D_{n,p}$: coefficient de diffusion des porteurs, électrons ou trous (cm^2/s).

k : constante de Boltzmann (J/K).

T : température (K).

q : charge électronique (C).

τ : durée de vie des porteurs, électrons ou trous, dans le matériau (s).

$\mu_{n,p}$: mobilité des porteurs, électrons ou trous, ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$).

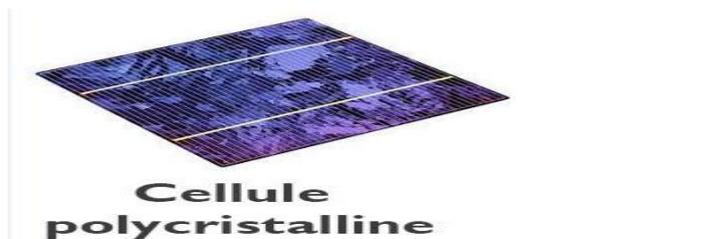
I.5 : Types de cellules photovoltaïques

Silicium monocristallin : cellule photovoltaïque est l'une des plus répandues. Elle est obtenue à partir de silicium monocristallin, appliqué en une tranche simple



Cellule monocristalline

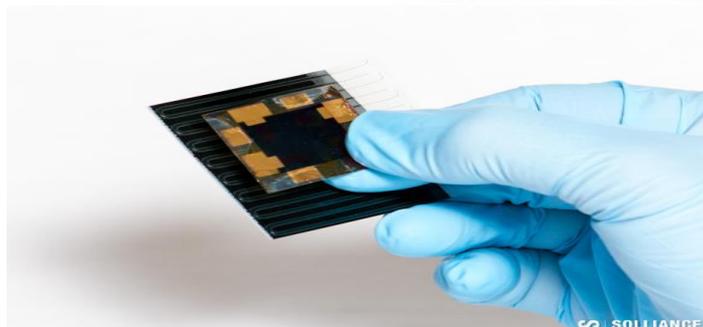
Silicium poly cristallin : Facilement reconnaissable grâce à ses cristaux bleus, cette cellule photovoltaïque se compose d'une seule tranche de silicium. Elle est de forme carrée.



Silicium amorphe : La cellule photovoltaïque au silicium amorphe est composée d'une couche fine de silicium, bien plus fine que les monocristallines ou les poly cristallines



Tandem : La cellule photovoltaïque tandem est quant à elle conçue à partir de deux couches semi-conductrices simples. Cela peut être une couche de silicium amorphe et une autre de silicium cristallin (mono ou poly) par exemple.



CIGS : Ce type de cellule photovoltaïque utilise un matériau semi-conducteur fait d'un alliage de cuivre, d'indium, de sélénium et de gallium. Ce mélange est disposé en couche très fine sur un support.



Couche mince de tellure de cadmium : Ce modèle de cellule photovoltaïque est composé lui aussi à partir d'un matériau autre que le silicium. Ici, c'est du tellure de cadmium qui est employé en une seule couche scellée entre deux plaques de verre



Multi-jonction : cellule photovoltaïque multi-jonction se compose de différentes couches de matériaux semi-conducteurs qui convertissent chaque rayon solaire, quelle que soit l'exposition. Les couches sont empilées, formant la cellule photovoltaïque multi-jonction. Pour l'instant, seuls les engins spatiaux en sont pourvus



I.6: Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Après un rappel de la physique de la cellule PV, dans cette partie, on aborde ses caractéristiques électriques principales [7].

I.6.1: Courbe courant-tension

Nous avons vu dans la partie précédente que la jonction servant de base à la photopile est une diode. La jonction p-n dans l'obscurité suit donc la relation caractéristique d'une diode :

$$I_{\text{obs}} = I_s [\exp(V/V_t) - 1] \quad (\text{I.5})$$

Avec :

V : tension appliquée à la diode (V).

V_t : potentiel thermodynamique (V).

I_s : courant de saturation de la diode (A).

I_{obs} : courant d'obscurité (A).

Le courant délivré sur une charge par une cellule photovoltaïque éclairée s'écrit :

$$I = I_{\text{ph}} - I_{\text{obs}} \quad (\text{I.6})$$

Soit

$$I = I_{\text{ph}} - I_s [\exp(V/V_t) - 1] \quad (\text{I.7})$$

I_{ph} : est le photo-courant généré, c'est-à-dire la contribution due à l'éclairement (indépendante de la tension aux bornes de la jonction). Il est proportionnel à la quantité de lumière reçue par la cellule :

$$I_{\text{ph}} = I_{\text{ph0}} * (I_r / I_{r0}) \quad (\text{I.8})$$

Où :

I_r : l'intensité lumineuse éclairant la cellule (W/m^2).

I_{r0} : l'intensité dans la condition standard ($1000 \text{ W}/\text{m}^2$).

I_{ph0} : le photo-courant mesuré dans les conditions standards.

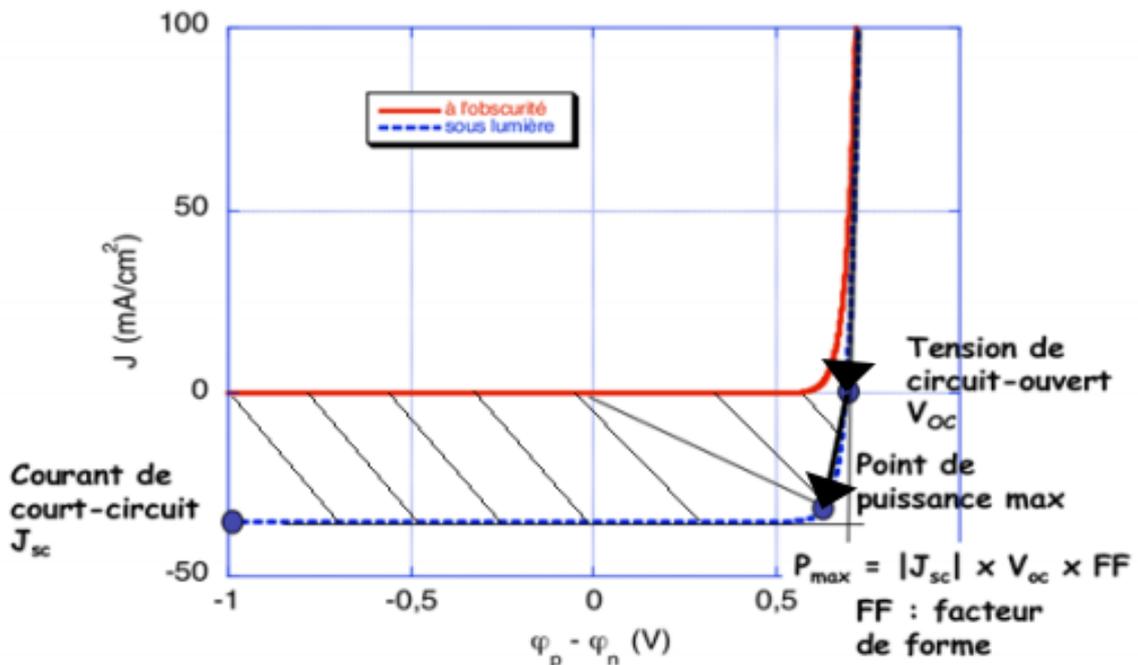


Figure I.9: Caractéristiques densité de courant en fonction de la tension d'une cellule PV dans l'obscurité et sous illumination

On observe sur la figure I.9 que la lumière "déplace" la courbe I-V dans le 4^{ème} quadrant où la cellule représente un générateur de puissance. Le courant est décalé d'une valeur de I_{sc} . Cette valeur est appelée courant de court-circuit. Elle représente le courant délivré par le panneau lorsque celui-ci est en court-circuit, autrement dit lorsqu'il délivre le maximum de courant. Elle est proportionnelle à la quantité de lumière disponible. V_{oc} est la tension de circuit-ouvert. C'est la tension débitée par le panneau lorsque celui-ci ne délivre aucun courant.

La partie hachuré est l'intégration de la courbe sous lumière et représente la puissance délivrée par la cellule. P_{max} est la puissance maximale délivrée par la cellule. Elle est associée aux points V_{max} et I_{max} .

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \quad (I.9)$$

on pose $\{V=0 \rightarrow I_{sc} \approx I_{ph} \text{ et } V=V_{oc}, \text{ pour } I_{ph} \gg I_s\}$ finalement on trouve :

$$V_{oc} = V_t * \ln(I_{ph} / I_s) \quad (I.10)$$

On remarque que V_{oc} augmente avec le logarithme de I_{ph} et varie linéairement avec la température.

Le facteur de forme est un paramètre important pour définir la qualité d'une cellule. C'est le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule et la puissance formée par le rectangle $I_{sc} \times V_{oc}$. Il est donné par l'équation suivante :

$$FF = I_{max} * V_{max} / I_{sc} * V_{oc} \quad (I.11)$$

C'est un indicateur de la qualité de la jonction ainsi que des résistances série ou parallèle qui s'opèrent dans la cellule. En plus, le facteur de forme se rapproche de 1 et meilleure est la cellule.

Malheureusement, la cellule PV en condition d'utilisation ne peut pas être considéré comme une diode idéale et comporte des résistances parasites en série (R_s) et en parallèle (R_{sh}). Ces deux types de résistances auront pour effet de diminuer le facteur de forme et par conséquent la puissance délivrée par la cellule.

- ✚ La résistance série est principalement due à la résistance en volume du semi-conducteur, aux contacts métalliques et interconnexions, au transport des porteurs à travers la couche diffusante, aux résistances de contact avec les contacts métalliques des électrodes. Elle agit de manière peu prononcé sur le courant de court-circuit et peut être déterminée à partir de la courbe I-V en calculant la dérivée de celle-ci aux alentours de V_{oc} . Plus R_s est faible et meilleure est la cellule.
- ✚ La résistance parallèle est due aux impuretés proches de la jonction et au fait que la jonction p-n (ou p-i-n pour le silicium amorphe) ne soit pas idéale. Ce qui causera des courants de fuite dans la jonction. Elle agit de manière peu prononcée sur la tension en circuit-ouvert et peut être déterminée à partir de la courbe I-V en calculant la dérivée de celle-ci aux alentours de I_{sc} . Plus R_{sh} est forte et meilleure est la cellule.

L'équation (I.7) devient alors, en incluant ces résistances parasites :

$$I = I_{ph} - I_s * [\exp(V / V_t) - 1] - (V + I * R_s) / R_s \quad (I.12)$$

i est le courant traversé par la résistance R_s

Le rendement de conversion est défini comme le rapport entre la puissance maximale produite par la cellule PV et la puissance du rayonnement solaire incident :

$$\eta = P_{max} / E * S \quad (I.13)$$

Avec :

E : est l'éclairement incident (W/m^2).

S : est la surface de ce module (m^2).

On mesure le rendement dans des conditions de référence, c'est à dire sous un éclairement normal de 1000 (W/m^2), à la température de 25°C et sous un spectre AM1.5 (il s'agit du spectre de la lumière solaire après qu'elle ait traversé une épaisseur d'air sans nuages correspondant à

1.5 fois l'épaisseur de l'atmosphère. Cette situation se présente en pratique lorsque le ciel est très clair et que le Soleil se trouve à une hauteur de 41.8° au-dessus de l'horizon). Ces conditions normalisées sont dites «STC» pour Standard Test Conditions. Le rendement d'une cellule est très important car grâce à ce paramètre, différentes cellules peuvent être comparées.

La puissance maximale délivrée par un panneau dans ces conditions est dite puissance-crête, exprimée en watts-crête (W_c ou W_p).

Une grande partie des principales caractéristiques d'une cellule PV s'obtient grâce à la courbe I-V. Il reste cependant un caractère important que nous ne sommes pas en mesure d'avoir juste en traçant la courbe I-V : le courant délivré par la cellule en fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident. En d'autre terme, la réponse spectrale (RS).

I.6.2 : Réponse spectrale

Les photons ayant une énergie supérieure au gap du semi-conducteur pourront créer une paire électron-trou. L'énergie excédentaire sera perdue, elle aussi en fonction de la longueur d'onde de la lumière. Une autre technique fondamentale de caractérisation est la réponse spectrale. Elle permet d'apporter des informations sur la capacité de la cellule à produire un photo-courant en fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident. Sur la figure I.10 est représenté les RS de cellules au silicium cristallin et au silicium amorphe [8].

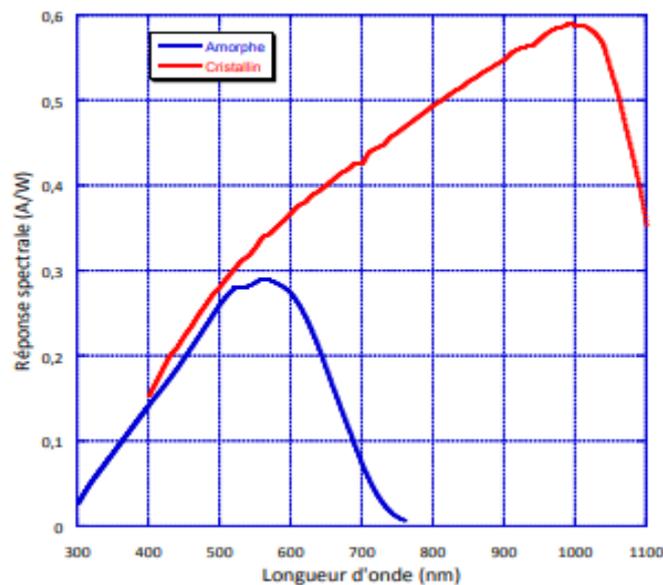


Figure I.10 : Réponse spectrale d'une cellule amorphe et d'une cellule cristalline

Le photo-courant est proportionnel au flux lumineux incident (E_{inc}), pénétrant dans la cellule et à la charge électronique (q). $q (1-R) E_{inc}$ représente la densité de courant correspondant à un flux de charges élémentaires égal au flux de photons absorbés. C'est le photo-courant qu'il y aurait si chaque photon pénétrant dans la cellule contribuait pour une charge élémentaire au courant.

On définit le rendement quantique interne (IQE: efficacité quantique interne) de la cellule comme le nombre d'électrons passant de la bande de valence à la bande de conduction par photon incident. Il s'écrit :

$$IQE = J_{ph} / q * (1-R) * E_{inc} \quad (I.14)$$

Avec :

J_{ph} : la densité de photo-courant (A / m^2).

q : la charge élémentaire (C).

R : le coefficient de réflexion de Fresnel.

E_{inc} : le flux incident (W/m^2).

Un autre paramètre intéressant de la cellule, plus accessible expérimentalement est RS. RS représente le courant généré par la cellule par rapport à l'énergie apportée par longueur d'onde du rayonnement incident. Elle s'exprime de la manière suivante :

$$RS = (q \cdot \lambda / h \cdot c) \cdot IQE = q \cdot n_e / (h \cdot c / \lambda) \cdot n_{ph} = I_{sc} / P_{inc} \quad (I.15)$$

Où

n_e est le flux d'électrons qui circule, par unité de temps, en court-circuit dans la cellule. n_{ph} le flux de photons de longueur d'onde λ arrivant sur la cellule par unité de temps. RS est donc la valeur de I_{sc} de la cellule par unité de flux monochromatique incident. Elle est accessible expérimentalement : on utilise une diode étalonnée (dont on connaît la courbe RSd) pour mesurer le flux lumineux que l'on notera ϕ_d (flux sur la diode). On mesure la densité de courant générée par cette diode à chaque longueur d'onde $J_d(\lambda)$ et on obtient le flux $\phi_d(\lambda)$ par l'équation suivante :

$$RS_d(\lambda) = J_d(\lambda) / \phi_d(\lambda) \quad (I.16)$$

On mesure la densité de courant généré par l'échantillon à chaque longueur d'onde $J_{éch}(\lambda)$ et on associe le flux reçu par l'échantillon $\phi_{éch}(\lambda)$ qui correspond à celui reçu par la diode, à un coefficient (k) près. Ce coefficient est dû au système optique qui n'est pas parfaitement symétrique. On obtient donc la réponse spectrale de l'échantillon, $RS_{éch}(\lambda)$, suivante :

$$RS_{éch}(\lambda) = J_{éch}(\lambda) / \phi_{éch}(\lambda) = J_{éch}(\lambda) / [k \cdot J_d(\lambda) / RS_d(\lambda)] \quad (I.17)$$

La mesure de RS permet de relier les performances d'une cellule PV à un paramètre physique correspondant à sa capacité à produire le photo-courant. Le courant de court-circuit I_{sc} , un des paramètres décisifs des performances d'une cellule, peut être extrait de $RS(\lambda)$ par l'intégrale de la densité de courant de court-circuit en longueur d'onde sur la surface :

$$I_{sc} = \int_{\lambda} S \times J_{sc}(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda} S \times P_{inc}(\lambda) \times RS(\lambda) \cdot d\lambda \quad (I.18)$$

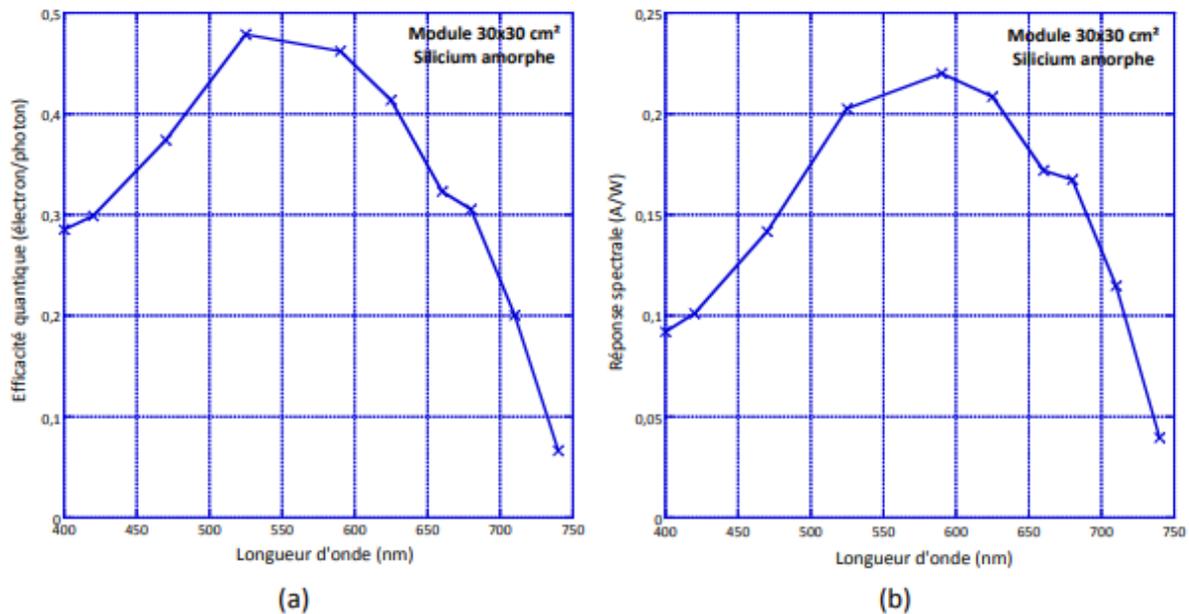


Figure I.11 : efficacité quantique interne (a) et réponse spectrale (b) d'une cellule au silicium amorphe caractérisée au LGEP

La réponse spectrale et le rendement quantique d'un module au silicium amorphe de taille 30 cm × 30 cm représentés sur la figure I.11 ont été réalisés grâce au système de Christophe Longeaud monté au LGEP qui permet l'acquisition de RS de modules PV. Il faut préciser que le rendement quantique ici est le rendement quantique externe qui ne prend pas en compte la réflexion.

Cette dépendance en réponse à la longueur d'onde incidente rend la cellule dépendante du spectre incident. La réponse spectrale est la courbe de réponse d'une cellule en fonction de la

couleur du rayonnement incident. Elle permet de regarder quelle gamme de longueurs d'ondes chaque matériau absorbe le mieux.

I.7: Modélisation électrique d'une cellule PV

La modélisation électrique d'une cellule photovoltaïque offre trois avantages importants : une facilité d'utilisation grâce au circuit électrique équivalent, une vulgarisation des propriétés du système et donc la compréhension de phénomènes complexes en est facilitée.

Dans le cas où la cellule se comporte en générateur de puissance, il existe plusieurs modèles électriques, aussi appelés circuits équivalents, pour reproduire le comportement de la cellule à l'aide de composants électroniques. Les circuits utilisés le plus fréquemment dans la littérature pour modéliser les cellules cristallines constituées d'une jonction p-n sont les circuits à une et deux diodes (fig I.12) [9].

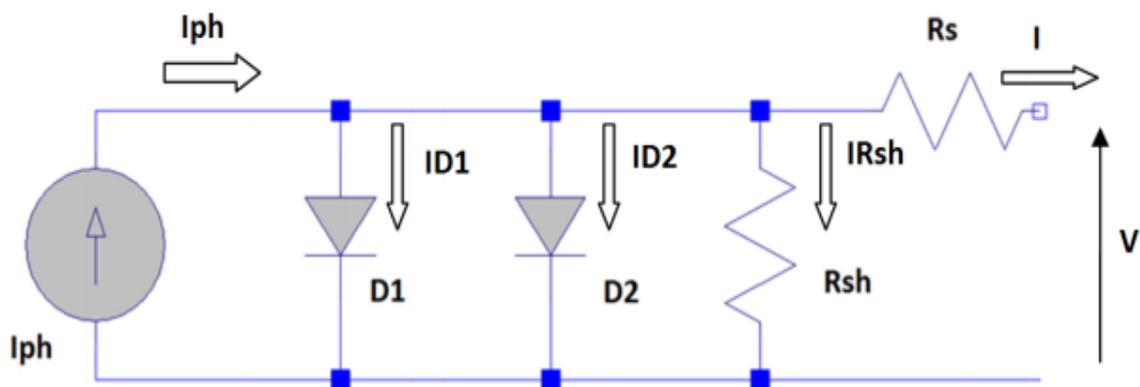


Figure I.12: Schéma équivalent d'une cellule PV : modèle à deux diodes

On déduit du schéma de la figure I.11, l'équation caractérisant la variation du courant en fonction de la tension à l'aide des lois de Kirchhoff :

$$I = I_{ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_{Rsh} \quad (I.19)$$

$$I = I_{ph} - I_{01} [\exp(q*(V+i*R_s)/n1*k*T) - 1] - I_{02} [\exp(q*(V+i*R_s)/n2*k*T) - 1] - (V+i*R_s)/R_{sh} \quad (I.20)$$

i est le courant traversé par la résistance R_s

I_{01} est le courant de saturation de la première diode due à la diffusion et I_{02} celui de la deuxième diode due aux recombinaisons, $n1$ et $n2$ sont respectivement les facteurs d'idéalité de ces deux diodes. Le facteur d'idéalité de la diode de recombinaisons varie beaucoup d'une cellule à une autre, ce qui témoigne d'une fréquence de recombinaison plus ou moins grande suivant le matériau et sa qualité. Le modèle à une diode ne fait pas la distinction entre la diffusion et la recombinaison et inclut les deux dans une même diode.

Les résistances R_s et R_{sh} tiennent compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule. R_s est due à la contribution des résistances de base, du front de la jonction et des contacts avant et arrière. R_{sh} rend compte des courants de fuites engendrés par des impuretés métalliques dans la jonction ou encore des imperfections du réseau cristallin. La connaissance des valeurs de ces résistances parasites est importante dans l'étude de la qualité du matériau et la recherche de l'amélioration du rendement d'une cellule. En effet, le facteur de forme est directement lié à ces deux résistances. Plus R_{sh} est grand, moins il y a de courants de fuite et meilleur est le facteur de forme. Plus R_s est petit, moins il y a de pertes résistives à l'interface entre le métal et le semi-conducteur ou à la surface du semi-conducteur et meilleur est le facteur de forme.

Les paramètres de ces circuits équivalents sont calculés expérimentalement à l'aide de la caractéristique courant-tension, de la cellule dans l'obscurité (figure I.12). L'équation (I.20) étant non linéaire, des programmes sont utilisés pour ajuster au mieux les paramètres afin que

les courbes modélisées correspondent aux valeurs expérimentales. Dès lors que l'on a connaissance de ces paramètres, il est possible de reproduire, à l'aide du circuit équivalent, le comportement d'une cellule cristalline sous n'importe quel éclairage. Il suffit alors de superposer la source lumineuse (I_{ph} dans le modèle) aux caractéristiques des diodes à l'obscurité. En d'autres termes, on fait juste varier I_{ph} . Nous verrons un peu plus loin que ce n'est en revanche pas le cas pour les cellules au silicium amorphe pour lesquelles il faut ajouter un terme si l'on souhaite modéliser leur comportement correctement.

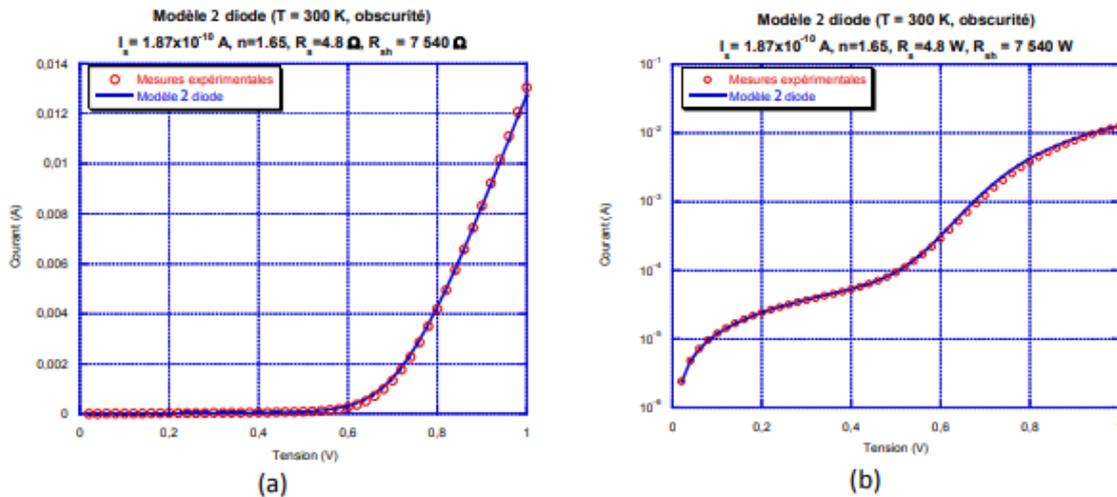


Figure I.12: Caractéristiques I-V d'une cellule a modèle à deux diode implémenté dans l'obscurité en échelles linéaire(a) et logarithmique (b)

Contrairement aux cellules cristallines, il ne suffit pas de faire varier l'éclairement par l'intermédiaire de l'équation (I.6) pour reproduire le comportement d'une cellule au silicium amorphe. Il faut pour celle-ci, prendre en compte le fait que les porteurs minoritaires ne diffusent pas de façon linéaire dans la jonction p-i-n. Le silicium amorphe comporte des liaisons pendantes qui agissent comme des centres de recombinaison. Les pertes par recombinaisons sont proportionnelles à la concentration de porteurs et par conséquent au photo-courant. Il faut donc ajouter au modèle "classique" à 1 ou 2 diodes, un terme (I_{rec}) qui prenne en compte ces pertes dans la couche i, proportionnelles à l'intensité lumineuse

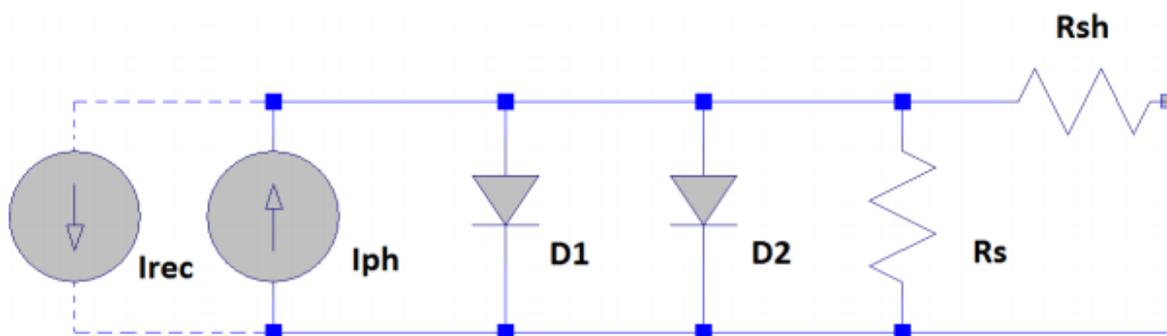


Figure I.13: Circuit équivalent d'une cellule au silicium amorphe avec le terme I_{rec} qui prend en compte les pertes par recombinaison dans la couche i

L'équation de ce nouveau terme est la suivante:

$$I_{rec} = I_{ph} * d_i^2 / (\mu\tau) \text{ eff} * [V_{bi} - (V - i * R_s)] \tag{I.21}$$

Où d_i est l'épaisseur de la couche intrinsèque (cm), $(\mu\tau) \text{ eff}$ est la combinaison des produits $\mu\tau$ des électrons et des trous (cm^2/V) et V_{bi} est la tension de bandes plates (V).

On ajoute ce nouveau terme à l'équation (I.18) :

$$I = I_{ph} - I_{rec} - I_{D1} - I_{D2} - I_{rsh} \tag{I.22}$$

I.8 : Panneau photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est une combinaison de plusieurs modules PV. Il représente pour un système PV la source d'énergie fournir a tout de ces éléments.

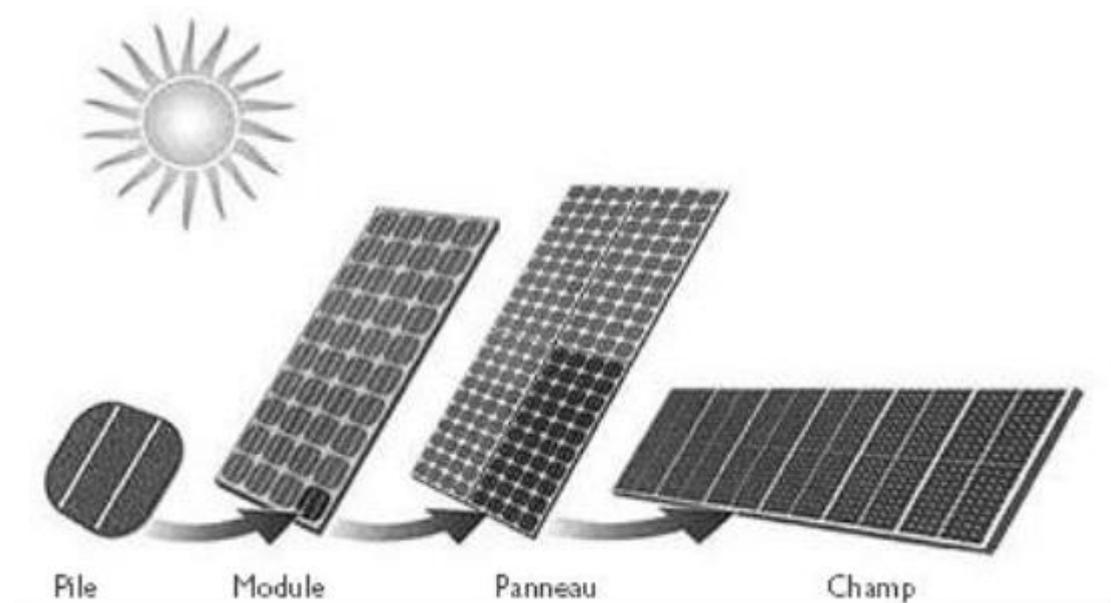


Figure I.14 : Composition d'un champ photovoltaïque

I.9 : Diffèrent association de module

I.9.1: Association série

L'association des modules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les modules sont donc traversés par le même courant et la caractéristique résultante du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule (figure I.15).

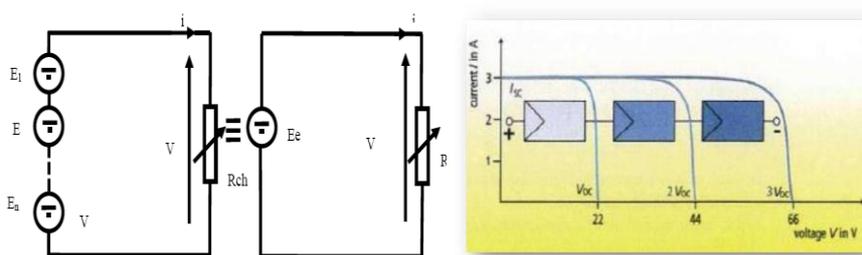


Figure I.15 : Association série des cellules solaires.

I.9.2 : Association parallèle

L'association des modules en parallèle permet d'augmenter le courant du générateur photovoltaïque. Les modules sont appliqués par la même tension et la caractéristique résultante du groupement parallèle est obtenue par l'addition des courants élémentaires de chaque cellule (figure I.16).

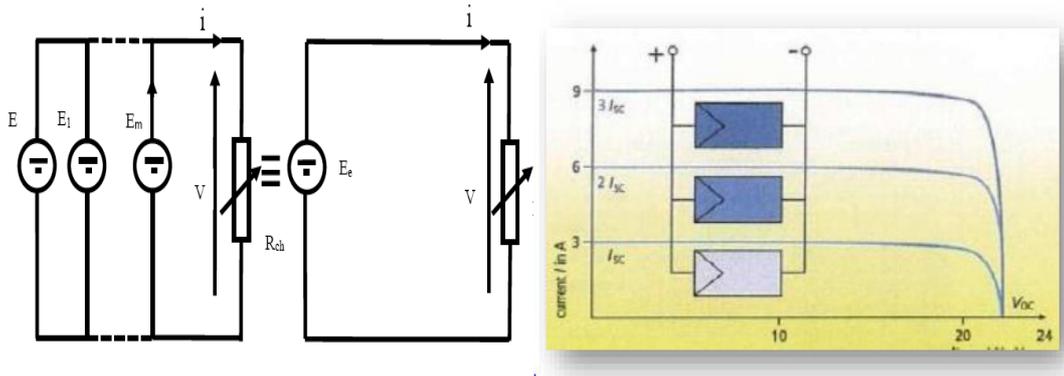


Figure I.16 : Association parallèle des cellules solaire.

I.9.3: Association mixte

L'association mixte de module est l'assemblage entre parallèle et séries. Il en résulte un panneaux solaire d'une tension et courant élevés (figure I.17).

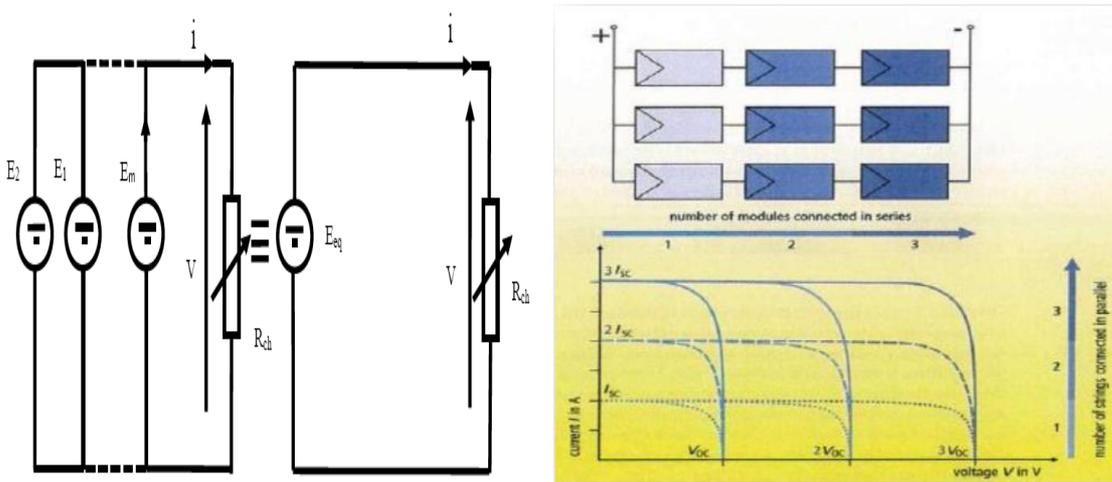


Figure I.17: Association mixte des cellules solaire.

I.10: Influence de certains paramètres sur les caractéristiques de la cellule

Afin de mettre en évidence l'effet de la température et de l'irradiation sur les caractéristiques de la cellule, nous avons effectué une simulation de cette dernière sous MATLAB. Les paramètres de simulation relatifs à cette simulation sont consignés dans le tableau suivant :

paramètre	Pmp	Vmp	Imp	Ns	Np	Voc	Isc	Rs	Rp
Valeur	200 w	26.4v	7.58 A	58	1	32.9 v	8.21A	0.221Ω	415.405Ω

Tableau I.1 : Paramètres de la simulation utilisées

Avec :

P_{mp} :puissance nominal en watt.

V_{mp} : tension nominal en volt.

I_{mp} : courent nominal en ampère.

N_s : nombre de cellule en série.

N_p : nombre de cellule en parallèle.

V_{oc} : tension en circuit ouvert en volt.

I_{sc} : courant court-circuit en ampère.

R_s : résistance série en ohm.

R_p : résistance parallèle en ohm.

I.10.1: Effet de la température

La température est un paramètre très important dans le comportement des PS puisqu'elles sont exposées au rayonnement solaire. La figure I.18 et la figure I.19 montrent l'influence de la température, sur la caractéristique $I(V)$ et $p(V)$ de panneau solaire lorsque la température varie et pour un éclairement fixe (1000w/m^2).

D'après les résultats de simulation trouvés on observe que pour un rayonnement solaire donné, l'augmentation de la température entraîne une augmentation de la valeur du courant. En plus, on remarque une diminution nette de la tension et de la puissance maximale.

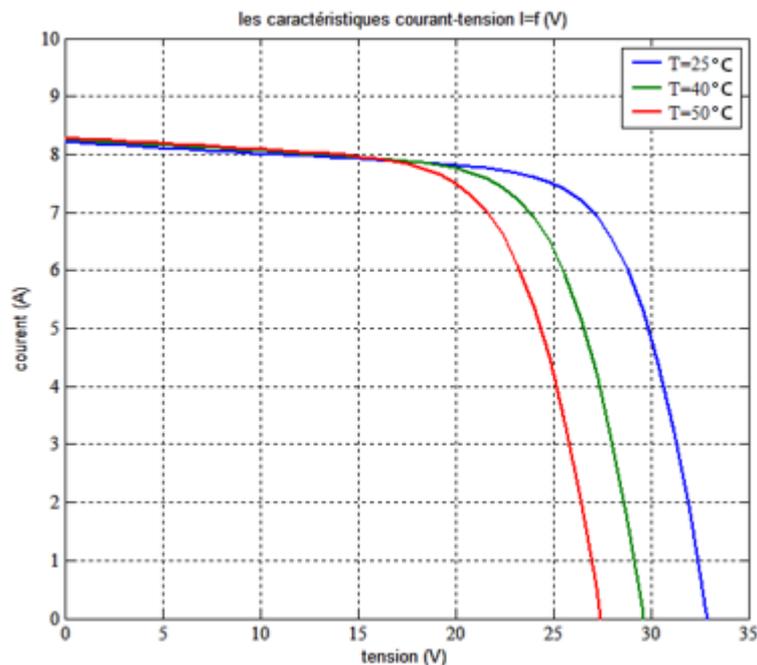


Figure I.18 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension $I=f(V)$.

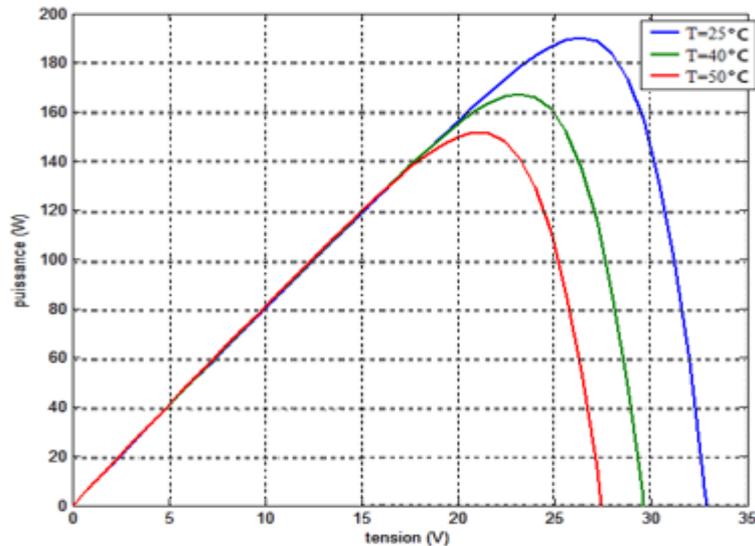


Figure I.19 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension.

I.10.2: Effet de l'irradiation

L'éclairement caractérise la puissance lumineuse reçue par unité de surface. Il s'exprime en W/m^2 . La grandeur associée à l'éclairement est notée « G ». Parfois, cette grandeur est aussi appelée irradiancie.

Les figures I.20 et I.21 présentent la caractéristique courant-tension et la caractéristique puissance-tension d'une PS pour plusieurs valeurs de l'éclairement et pour une température constante ($T=25C$). A la vue de ces courbes nous pouvons voir clairement l'effet de l'irradiation sur la PS. Nous constatons que le courant dépend fortement de l'irradiation solaire. Il varie proportionnellement avec l'irradiation. Notons aussi une légère diminution de la tension.

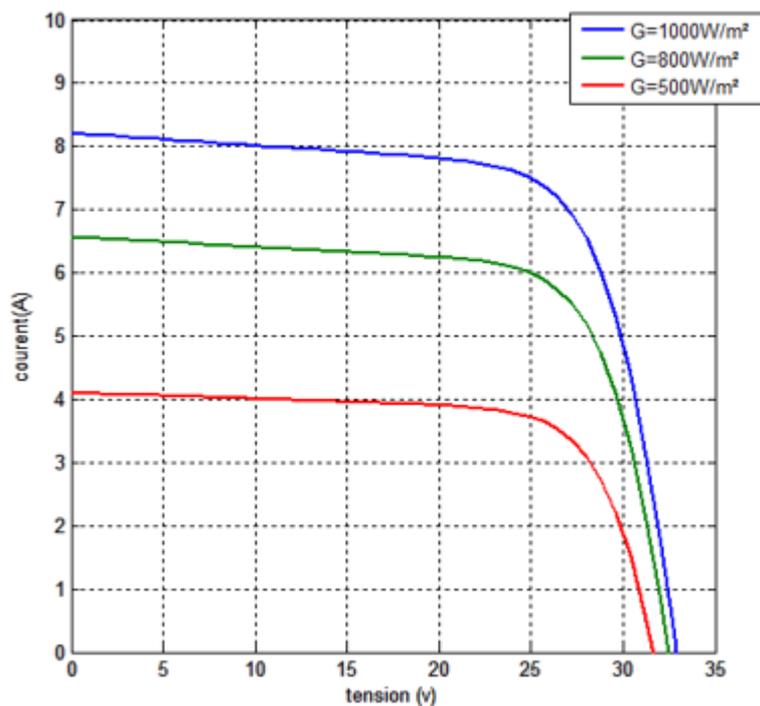


Figure I.20 : Influence de l'éclairement sur les caractéristiques courant-tension.

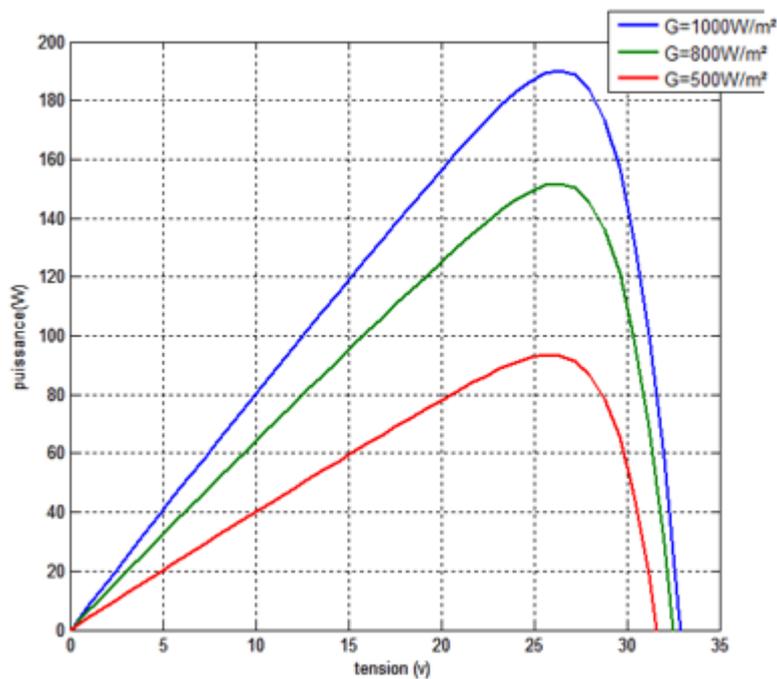


Figure I.21 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension.

I.11 : Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans un premier temps, un bref théorique sur les énergies renouvelable d'une manière générale. Il aborde ainsi le principe de production de l'énergie électrique photovoltaïque. Dans un second temps, nous avons simulé le modèle d'une cellule solaire. Aussi, nous avons étudié l'influence de la variation de température et de l'éclairement sur le comportement de la cellule. Le chapitre suivant sera consacré sur les déchets et la solution pour une vie durable.

Chapitre II

Notion sur les déchets

II.1 : Introduction

Le développement de la population mondiale excite une grande consommation des produits quel que soit leurs types (alimentaires,...).cette dernière résulte une augmentation dans la quantité des déchets ménagers par ailleurs la production des déchets solides en Algérie a connu une augmentation durant ces dernières années, dont le ratio par habitant dans une zone urbaine est de 0.7kg/j/h, soit près de 9 millions de tonnes par an. La plupart de ces déchets sont acheminés vers des décharges ou des centres d'enfouissement. Plus de 10% de déchets éliminés sont de plastique [10] . Cela provoque un grand problème dans notre environnement, de cela il faut des nouvelles stratégies pour diminuer la quantité des déchets.

II.2 : Définition du terme « déchet »

L'article 3 de la loi du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit un déchet comme tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation. Et plus généralement tout substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [11].

II.3 : Typologies de déchets

Les déchets sont classés en fonction de critères multiples. Ces critères déterminent des typologies de déchets qui sont utilisées par les différents acteurs pour conduire, surveiller et rendre compte de leurs activités. La typologie peut être déterminée en fonction de l'origine du déchet, de ses propriétés de danger, ou encore, en fonction d'une filière de traitement dédiée [12].

II.3.1 : Déchets ménagers et assimilés : tous déchets issus de ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers.

II.3.2 : Déchets encombrants : tous déchets issus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés.

II.3.3 : Déchets spéciaux : tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.

II.3.4 : Déchets spéciaux dangereux : tous déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement.

II.3.5 : Déchets d'activité de soins : tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.

II.3.6 : Déchets inertes : tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement.

II.4 : La composition des déchets ménagers

Les déchets ou les ordures ménagers sont composées de plusieurs déchets tout dépend la nature de consommation par exemple des produit alimentaire sont emballé ce dernier doit rejeter avec les déchets [13].

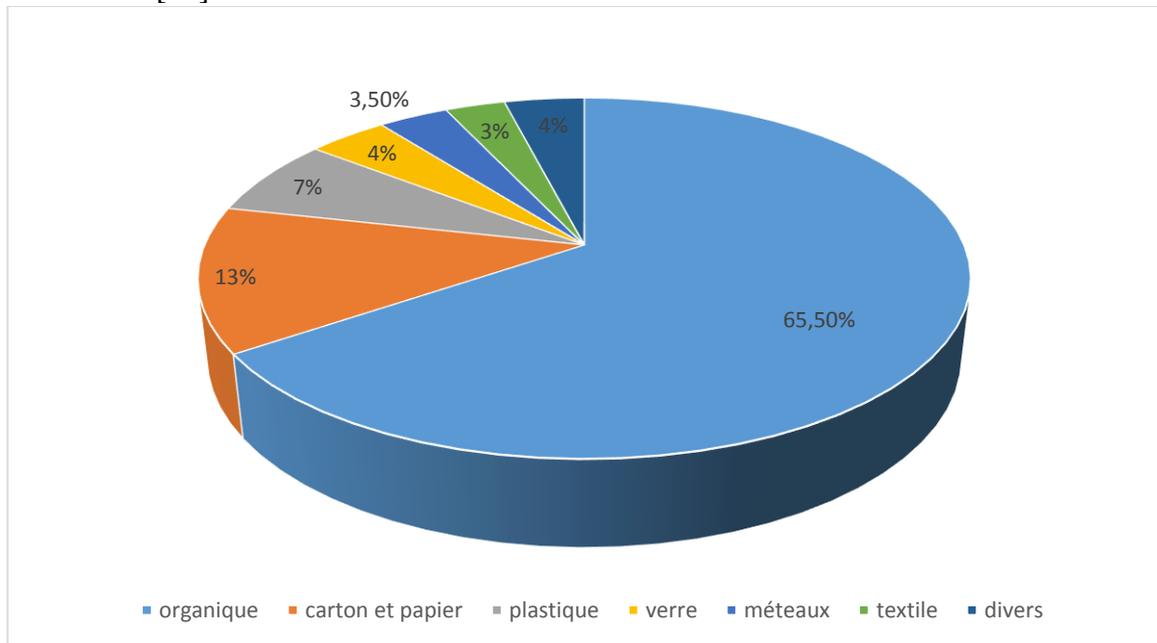


Figure II.1 : composition des déchets ménagers.

Le graphe ci-dessus représente la composition des ordures dans une quantité de 1kg, notre majorité de consommation sont des produits alimentaires (fruits, légumes..) qui provoque un gisement de déchets organique de 65.5%. Ensuite, notre vie quotidienne excite la consommation de papier et de carton qui est de 13% mais ce dernier se décompose dans la nature plus rapidement mais le plastique de 7% a une grande durée de décomposition après le verre avec de quantité de 4% puis les métaux avec 4% ,enfin textile avec 3% et 3.5 % divers.

Type de déchet	Durée de vie
Chewing-gum	5 ans
Papier	5 ans
Canette en acier	100 ans
Briquet en plastique	100 ans
Canette en aluminium	100 ans
Sac en plastique	450 ans
Bouteille en plastique	500 ans
Polystyrène expansé	1 000 ans
Carte téléphonique	1 000 ans
Le verre	5 000 ans
Pneu	non biodégradable

Tableau II.1 : Durée de vie de chaque type de déchet

Le tableau ci-dessus représente la durée de vie de chaque type de déchet lorsque en remarque que le plastique et le matériau le plus dangereux sur l'environnement et pour éviter ce problème là il faut des stratégies pour recyclé cette matière [14].

II.5 : Plastique

Le terme « matière plastique » se définit de la manière suivante : matière synthétique, constituée de macromolécules obtenues par polymérisation ou polycondensation et qui peut être moulée ou modelée [15].

Plusieurs notions sont sous-jacentes à cette définition : matière synthétique, macromolécule, polymérisation et polycondensation. La définition du terme plastique ramène prioritairement à la notion de mise en forme : qui a le pouvoir de donner la forme. Le terme plastique provient du latin plasticus, relatif au modelage, emprunté du terme grec plastikos, malléable, qui sert à modeler [16].

Le terme plastique a d'abord été employé en tant qu'adjectif : qui vise la reproduction ou la création de formes par modelage, se rapprochant de l'expression art plastique. Ainsi, le terme plastique semble avoir été depuis toujours associé à la mise en forme. Il est à noter que le terme plastique, utilisé comme nom commun, constitue une ellipse de matière plastique. Ces deux termes sont donc équivalents.

Dans la littérature scientifique, et plus spécifiquement dans le domaine de la chimie, plusieurs définitions sont proposées. Des définitions partielles, car très larges et incomplètes, sont données : « n'importe quelle matière qui peut être chauffée ou moulée et qui conserve sa forme une fois refroidie est un plastique », ou « matière intrinsèquement sans forme pouvant être moulée ou modelée sous la chaleur et/ou la pression ». Évidemment, les auteurs de ces définitions apportent de nombreuses précisions, car une définition complète et succincte serait aride, mais surtout difficile à saisir.

II.6 : Processus d'élaboration des matières plastiques

Les matières plastiques synthétiques sont essentiellement produites à partir de monomères issus de la pétrochimie. Cependant, elles peuvent également être produites à partir de charbon ou de gaz naturel, bien que le pétrole soit le matériau brut le plus utilisé pour la production des matières plastiques. Les raffineries créent des sous-produits dans les tours de raffinage à partir du pétrole brut. C'est à cette étape que seront séparés par distillation l'essence, les naphthes, la paraffine, le diésel et les huiles lourdes [17]. La figure II.2 présente le processus d'élaboration des thermoplastiques courants, tels le PP, le PVC, le PE, le PET et le PS, à partir du pétrole et du gaz naturel

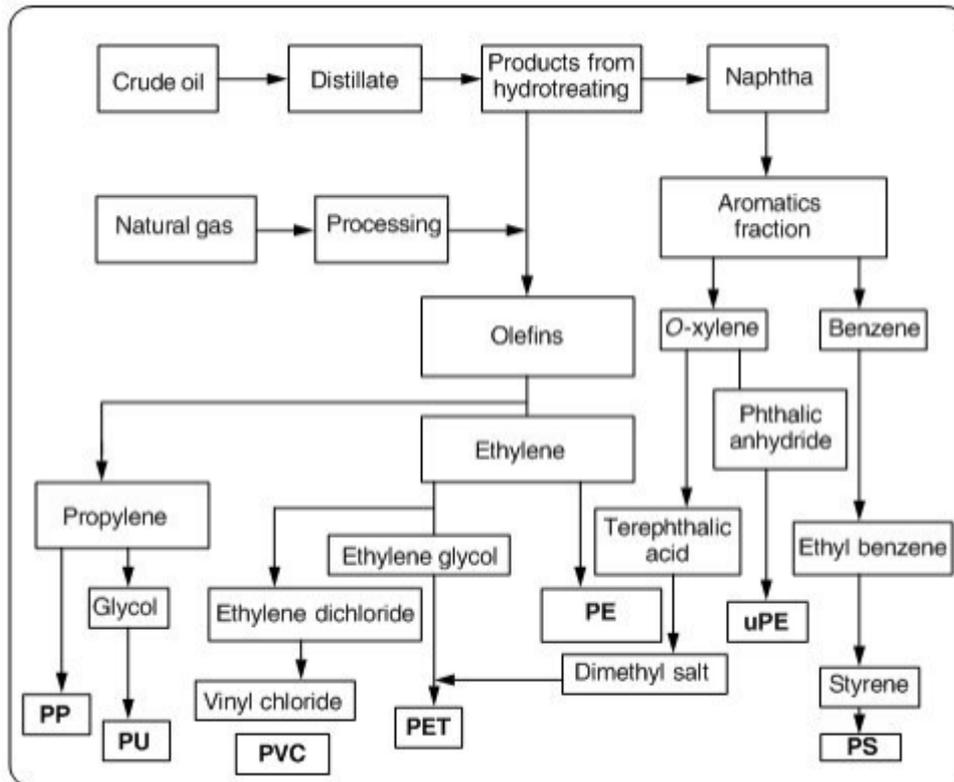


Figure II.2: Processus d'élaboration des thermoplastiques classiques.

Les polymères sont rarement utilisés seuls. D'autres produits entrent dans la composition des matières plastiques [18]. Des additifs ou adjuvants sont ajoutés afin d'améliorer certaines propriétés physico-chimiques.

Les deux termes ne sont pas à confondre. Les additifs peuvent représenter une part importante de la matière plastique, ils sont ajoutés dans des proportions allant jusqu'à 50 % de celle-ci, tandis que les adjuvants ne seront employés que dans de faibles proportions, généralement inférieures à 2 %. Six types d'additifs sont employés : les renforts, les charges, les plastifiants, les stabilisants, les antioxydants et les colorants. Les renforts sont utilisés pour accroître la tenue mécanique et la rigidité (p. ex. fibre de verre, carbone).

Les charges sont ajoutées afin d'apporter une propriété spécifique (p. ex. talc, calcaire) ou comme matériel de charge pour réduire le coût (p. ex. farine de bois, coton, cellulose). Les plastifiants sont utilisés pour donner de la souplesse et réduire la fragilité (p. ex. phosphates, phtalates, adipates, sébaçates, stéarates, glycols), surtout dans les PVC; les stabilisants (p. ex. sels, stéarates), surtout dans les PVC, et les antioxydants (p. ex. amines aromatiques, dérivés phénoliques), dans les PE, PP et PS, sont utilisés contre le vieillissement. Enfin, les colorants sont utilisés pour modifier l'apparence de la matière (p. ex. pigments minéraux ou organiques). Les adjuvants confèrent des propriétés diverses. Les réticulants apportent une structure pontée qui mène aux thermodurcissables. Les gonflants apportent une structure cellulaire. Les solvants facilitent l'enduction ou l'imprégnation. Les anti-UV (ultraviolet) retardent la dégradation photochimique. Les antistatiques dissipent l'accumulation de charges électriques. Les tensio-actifs jouent un rôle de dispersant. Les lubrifiants facilitent le démoulage. Également, des fongicides, ignifugeants et désodorisants peuvent être ajoutés [19].

II.7 : Type de plastique

On peut les diviser en 3 familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables, et les élastomères.

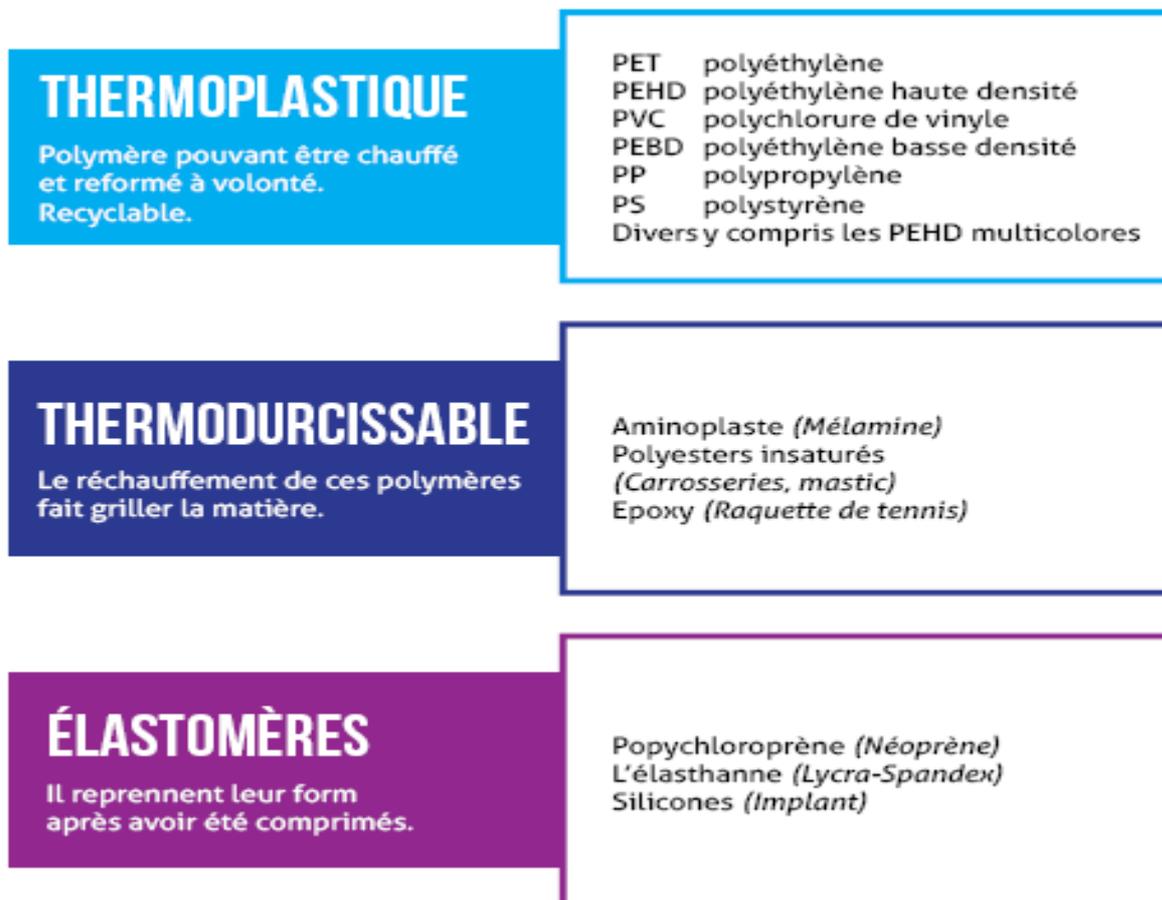


Figure II.3 : représente famille de plastique

Pour plus de facilité, on se concentre uniquement sur les thermoplastiques. Dans cette famille de plastiques, on peut faire la différence entre 7 familles qui sont représentées par les symboles suivants dans la figure II.4 :



Figure II.4 : Symboles des familles de thermoplastique

II.8 : Polymère et polymérisation

Le concept de « polymère » étant lié de très près à celui de matière plastique, certains auteurs renvoient directement la définition de matière plastique à ce concept [20]. Les matières plastiques sont faites de polymères. Puisque la plupart des matières plastiques sont constituées d'un seul type de polymère, par exemple le polyéthylène (PE), le terme « polymère » est généralement employé par extension pour désigner celles-ci. Un polymère est un assemblage de plusieurs monomères, des molécules de base chimiquement liées en une macromolécule

[21]. La longue chaîne du polymère rassemble les monomères de manière structurée. La formule chimique d'un polymère rappelle la formule du monomère en ajoutant la lettre « n », précisant que le monomère est répété n fois dans la chaîne [22]. La figure II.5 présente les formules de quatre polymères : le polyéthylène (PE), le polystyrène (PS) et le polypropylène (PP) et le polychlorure de vinyle (PVC)

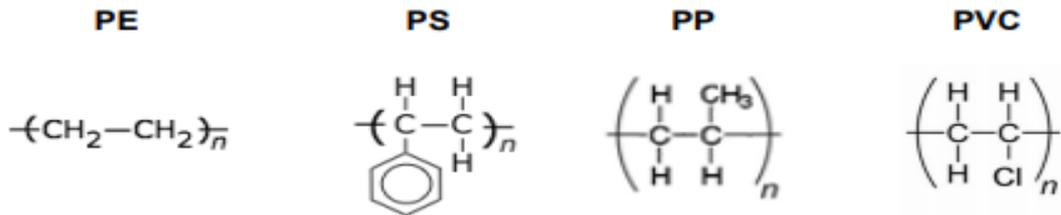


Figure II.5: Structures moléculaires du PE, du PS et du PP et du PVC

II.9 : Propriétés physico-chimiques de polymère

D'une manière générale la température de fusion des polymères se situe entre 85° C et 300° C. Les polymères ont des conductivités électrique et thermique faibles et sont moins dense que les métaux.

Enfin, les propriétés mécaniques dépendent fortement des mélanges qui sont réalisés. Aujourd'hui la majorité des plastiques contient des additifs (autres matériaux qu'on ajoute comme des charges inertes, des plastifiants, des colorants, ...) afin d'ajuster les caractéristiques du produit final aux besoins spécifiques. Ceci a conduit à une très grande variété de produits plastiques commercialement disponibles: aujourd'hui plusieurs milliers de formulations de plastique existent [23].

Sur la figure suivante nous montrons des exemples pour chaque classe de polymère.



(a) : Exemple N° 1



(b) : Exemple N° 2



(c) : Exemple N° 3



(d) : Exemple N° 4



(e) : Exemple N° 5



(f) : Exemple N° 6



(g) : Exemple N° 7

II.10 La production mondiale de plastique

Depuis l'an 2000, l'industrie du plastique a produit autant de plastique que toutes les années précédentes combinées. La production de plastique vierge a été multipliée par 200 depuis 1950 et a augmenté de 4% par an depuis 2000. En 2016, dernière année pour laquelle des données sont disponibles, la production a atteint 396 millions de tonnes. Cela équivaut à 53 kilogrammes de plastique pour chaque habitant de la planète. La production de plastique en 2016 a entraîné des émissions de dioxyde de carbone d'environ deux milliards de tonnes, soit près de 6% du total des émissions de dioxyde de carbone de l'année. Si la capacité de production de plastique prévue est atteinte, la production pourrait augmenter de 40% d'ici 2030 [24].

🚧 75% de l'ensemble du plastique déjà produit est aujourd'hui un déchet.

- ✚ 1/3 des déchets plastiques (100 millions de tonnes) entrent dans la nature et polluent les terres, rivières et océans chaque année.
- ✚ 80% du plastique dans l'océan provient de sources terrestres.

II.11 : L'utilisation du plastique

Les transformateurs de plastique, qui fabriquent des produits à partir de plastique vierge, ont une responsabilité limitée quant aux conséquences de leurs actes en aval, ce qui explique la prédominance des modèles commerciaux s'appuyant sur le plastique à usage unique. Le taux de consommation de plastique a augmenté de plus de 25 % depuis 2010.

Les produits en plastique se composent souvent d'un mélange complexe de matériaux supplémentaires qui réduisent les coûts de production. Toutefois, ces mélanges introduisent des impuretés et des contaminants qui diminuent la recyclabilité des produits et augmentent les coûts de tri et de recyclage.

En conséquence, plus de 40 % des déchets plastiques collectés pour le recyclage ne peuvent pas être recyclés de manière rentable. Ils sont alors gérés par incinération et mise en décharge.

Les transformateurs de plastique ne conçoivent pas de produits économes en ressources permettant une gestion efficace des déchets plastiques en fin de vie. Les décisions prises par les transformateurs de plastique affectent directement la compétitivité-prix et la qualité du plastique recyclé. Il en résulte une abondance de produits en plastique vierge de haute qualité et à faible coût. Les entreprises de gestion des déchets en aval supportent injustement le fardeau financier des décisions prises par les transformateurs de plastique. En raison de la conception et des choix de matériaux des transformateurs, le coût de la gestion des déchets plastiques augmente et la qualité des matériaux secondaires diminue.

Le cycle de vie du plastique ne dispose pas d'une boucle de rétroaction globale permettant de rendre les parties prenantes en amont de la chaîne responsables de leurs produits après leur vente. Des politiques existent, telles que la responsabilité élargie des producteurs dans certains pays de l'OCDE, mais de nombreuses régions où les taux de déchets plastiques mal gérés sont élevés doivent encore mettre en œuvre des programmes similaires. À ce jour, il n'existe pas de politique, de mécanisme de gouvernance ou d'organisme de réglementation universel garantissant la transparence et la responsabilité des acteurs en amont, ce qui limite la capacité à générer un changement systémique dans le cycle de vie du plastique.

II.12 : L'effet du plastique :

II.12.1 : Sur l'environnement :

II.12.1.1 : L'enchevêtrement : Ce phénomène a été enregistré chez plus de 270 espèces animales différentes, parmi lesquelles, des mammifères, des reptiles, des oiseaux et des poissons⁴⁶. L'enchevêtrement dans des débris de plastique entraîne souvent des blessures aiguës et chroniques ou la mort des animaux affectés. On estime qu'au moins un millier de tortues marines meurent chaque année des suites de l'enchevêtrement dans des déchets plastiques, ce qui inclut le matériel de pêche perdu ou mis au rebut.



Figure II.6 : représente l'enchevêtrement du plastique sur les animaux.

II.12.1.2 : L'ingestion : L'ingestion de plastique nuit à la santé des animaux. Les archives ont documenté plus de 240 espèces animales différentes ayant ingéré du plastique. Ces animaux sont souvent incapables de faire absorber le plastique par leur système digestif, ce qui entraîne des brûlures internes, des occlusions digestives et la mort. En outre, il a également été démontré que les toxines émanant de plastique ingéré nuisent à la reproduction et au système immunitaire. Ceci est particulièrement préoccupant pour les espèces en danger composées de petites populations et exposées à de multiples facteurs de stress en plus de l'ingestion de plastique.



Figure II.7 : représente l'effet du plastique sur la santé des animaux

II.12.1.3 : Les dommages à l'habitat : Des déchets plastiques ont été trouvés dans des sols, des rivières et des océans, où ils peuvent dégrader ou détruire des habitats fauniques. Il a été démontré que la pollution micro plastique modifie les conditions du sol, ce qui peut avoir des effets sur la santé de la faune et augmenter les risques de lixiviation chimique nocive du sol. Les déchets plastiques accélèrent également la dégradation des coraux. Le matériel de pêche abandonné, perdu ou jeté peut étouffer les récifs fragiles, et les colonies microbiennes qui se forment sur les déchets plastiques peuvent augmenter les taux de maladie chez les coraux.



Figure II.8 : représente l'effet du plastique sur les sols.

II.12.2 : Sur la société

II.11.2.1 : Pollution : plastique a des effets sur la qualité de l'air, des systèmes aquatiques et des sols. Les impacts directs les plus courants sont liés à la gestion non réglementée des déchets plastiques, à l'ingestion humaine de micro et nano-plastiques et à la contamination plastique des sols.



Figure II.9 : représente la pollution par le plastique.

II.12.2.2 : La gestion non réglementée des déchets plastiques : En 2016, 37 % des déchets plastiques ont été mal gérés en raison de processus de gestion des déchets non réglementés, notamment l'incinération, le déversement à ciel ouvert, la mise en décharge et le recyclage non contrôlé. Ces processus, en particulier l'incinération à ciel ouvert, libèrent des gaz toxiques, des halogènes, ainsi que des oxydes nitreux et de soufre, tous susceptibles d'affecter la qualité de l'air. Le déversement à ciel ouvert pollue également les aquifères, les plans d'eau et les installations à proximité. De plus, il a été prouvé que les composés liés au plastique associés à une incinération mal réglementée ou à une combustion à l'air libre aggravent les affections respiratoires, augmentent le risque de maladie cardiaque et nuisent au système nerveux humain⁵⁵. Les communautés situées à proximité d'installations de gestion des déchets mal contrôlées sont particulièrement exposées.

II.12.2.3 : L'ingestion de plastique par les humains : Bien que les humains soient particulièrement susceptibles d'ingérer des micro et nano-plastiques, les impacts directs sur

leur santé sont inconnus. Les humains peuvent ingérer du plastique en consommant des aliments contaminés par des micro et nano-plastiques. C'est en mangeant des fruits de mer, en particulier des crustacés, des moules et des huîtres que cela risque le plus de se produire. Il existe de nombreuses autres sources de contamination. Une étude récente sur l'eau embouteillée a révélé une contamination microplastique dans 93 % des bouteilles, provenant de 11 marques différentes réparties dans neuf pays [25].



Figure II.10 : représente l'effet du plastique sur l'être humaine.

II.12.2.4 : La contamination du sol et de l'eau : Les microplastiques libérés lors du lavage des vêtements et les nano-plastiques utilisés dans les produits cosmétiques peuvent s'accumuler dans les systèmes de traitement des eaux usées. Les procédés de traitement des eaux usées retirent l'essentiel de ces particules de plastique qui finissent dans les boues d'épuration. Ces boues sont souvent utilisées comme engrais de terrain, avec pour conséquence plusieurs milliers de tonnes de microplastiques se retrouvant dans les sols chaque année. Cependant, les usines de traitement des eaux usées ne sont actuellement pas en mesure d'éliminer toutes les particules de plastique avant qu'elles ne soient rejetées dans l'environnement ou les systèmes d'eau municipaux.



Figure II.11 : représente l'effet du plastique sur l'eau.

II.12.3 : Sur l'économie

L'impact économique total de la pollution plastique n'est pas encore connu, et la plupart des recherches se sont jusqu'à présent concentrées sur l'impact sur les océans. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) estime l'impact économique de la pollution plastique sur les océans à 8 milliards de dollars par an. On estime également que la pollution plastique est quatre fois plus présente sur terre que dans les océans, ce qui suggère que l'impact économique total de la pollution plastique est en réalité bien plus important. Bien que nous n'ayons pas encore une compréhension complète de l'impact économique total, nous soulignons ci-dessous l'impact existant sur des industries spécifiques.

II.12.3.1 : La pêche : La pollution plastique d'origine océanique réduit à la fois l'offre et la demande de produits de la mer en raison de la mort des animaux et de la peur qu'ils aient ingéré du plastique. La pollution plastique, y compris le matériel de pêche abandonné, peut également obstruer les moteurs des bateaux et perturber le secteur de la pêche. Les coûts liés aux interruptions d'activité dues à la pollution plastique dans l'Union européenne ont été estimés à 0,9 % du total des revenus de l'industrie, soit 61,7 millions d'euros par an.

II.12.3.2 : Le commerce maritime : Les navires de commerce sont également extrêmement sensibles aux collisions avec les déchets plastiques, car leurs dommages peuvent mettre en danger la vie de personnes. La Coopération économique pour l'Asie-Pacifique (APEC) a estimé le coût des dommages causés à la navigation commerciale par les déchets à 297 millions de dollars (United State) par an.

II.12.3.3 : Le tourisme : La pollution plastique peut réduire les revenus et augmenter les coûts dans l'industrie du tourisme. Par exemple, la pollution plastique a entraîné une réduction du nombre de touristes à Hawaï, aux Maldives et en Corée. En outre, l'élimination de cette pollution plastique entraîne des coûts supplémentaires pour les gouvernements et les entreprises. La ville française de Nice, par exemple, consacre 2 millions d'euros chaque année à la propreté des plages municipales.



Figure II.12: l'effet du plastique sur la mère.

II.13 : Recyclage

II.13.1 : Définition

-le recyclage est un procédé permettant la transformation d'un produit en fin de cycle à une ressource réutilisable pour la même industrie ou pour un autre secteur d'activité.

-Permet de transformer un déchet en matière première prête à l'emploi.

-Réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve.

-Toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins [26].



Figure II.13 : logo de recyclage.

II.13.2 : Historique

Le recyclage est utilisé dès l'âge du bronze. À cette époque, les objets usagés en métal sont fondus afin de récupérer leur métal pour la fabrication de nouveaux objets. Dans toutes les civilisations, l'art et la manière de « faire du neuf avec du vieux » existent. Par exemple, les vieux chiffons, puis les papiers et cartons, sont récupérés pour faire de la pâte à papier. La situation change avec le développement progressif puis massif de l'industrialisation et de la consommation. La gestion des matières premières et des déchets devient peu à peu de plus en plus difficile, les unes devenant trop rares et les autres trop envahissantes. Le recyclage joue un grand rôle dans la sauvegarde de l'environnement. Pendant la Deuxième Guerre mondiale et quelques années d'après-guerre, pénurie oblige, toute chemise en fin de vie est recyclée par les particuliers : les boutons en sont soigneusement récupérés pour des travaux de couture ultérieurs, les manches séparées pour protéger les bras dans les travaux salissants ou pour cirer les chaussures, et le reste réutilisé comme chiffons pour nettoyer les vitres. Ces chiffons se négociaient aussi auprès des chiffonniers, qui les collectaient pour la fabrication du papier. En 1970 (alors qu'on recycle moins que jamais !), le recyclage est remis au goût du jour par des partisans de la défense de l'environnement, qui lancent le logo actuel pour marquer d'une part les produits recyclables et d'autre part les produits issus de matériaux recyclés. Le recyclage suit cependant l'organisation mondiale de la consommation. La situation dans les pays développés n'est pas celle des pays en développement. Dans ces derniers, en l'absence de meilleur système, c'est la récupération informelle qui permet de recycler une partie des déchets, comme pendant la guerre [27].

II.13.3 : Les formes de recyclage

II.13.3.1 : Chimique on utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants

II.13.3.2 : Mécanique on transforme des déchets à l'aide d'une machine, par exemple le broyage.

II.13.3.3 : Organique (processus naturel) consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz.

II.13.4 : Les conséquences de recyclage

II.13.4.1 : Ecologiques

-la réduction du volume de déchets, et donc de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles, pour se dégrader).

- la préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire.

II.13.4.2 : Economique

- économiser de l'énergie et gagner de l'argent
- création d'emploi.

II.13.5 : Les étapes de recyclage des bouteilles plastique

Le recyclage des bouteilles en PET nécessite un ensemble de procès de tri et de purification afin de transformer nos déchets en matières recyclées qui serviront à fabriquer de nouveaux produits en plastique PET. Voici un résumé de ces 9 grandes étapes [28]

II.13.5.1 : Etape 01 : La première étape du recyclage du PET, c'est nous. En faisant tous le tri et en déposant nos emballages vides en PET dans le bac de tri sélectif, nos déchets sont bien collectés. Ils partent ensuite dans un camion à destination du centre de tri le plus proche.

II.13.5.2 : Etape 02 : Dans le centre de tri, ces mêmes emballages plastiques en PET sont séparés du reste de la collecte. Ils sont ensuite compactés en d'énormes cubes appelés balles de plastiques afin de faciliter leur transport vers des usines de régénération.

II.13.5.3 : Etape 03 : Dans les usines de régénération, un tri supplémentaire est effectué pour éliminer les derniers éléments indésirables. Ces emballages sont ensuite broyés et réduits sous forme de paillettes.

II.13.5.4 : Etape 04 : Les usines de régénération « nettoient » ensuite les paillettes en PET en les débarrassant de tous les autres constituants de la bouteille.

Comment s'effectue le nettoyage des paillettes en PET ?

Les paillettes vont être lavées à l'intérieur d'énormes machines qui ressemblent à des cuves. On utilise de l'eau chaude et des détergents. Combinées avec l'action mécanique des machines, les particules fines, les étiquettes et leurs colles sont éliminées.

Comment sépare-t-on le PET des autres constituants de la bouteille ?

Ensuite, les paillettes issues des bouchons en PEHD sont séparées des paillettes PET grâce à un système de flottaison. Toutes les paillettes sont placées dans l'eau et en fonction de leur densité, les matériaux légers comme le PEHD flottent alors que le PET plus lourd, va couler. Ces deux types de paillettes sont ensuite orientés vers leur filière de recyclage respective.

II.13.5.5 Etape 05 : Pour améliorer la qualité des paillettes, les régénérateurs effectuent parfois une dernière étape de purification par tri optique. Pour cela, on utilise différents procédés de détection et des caméras qui vont repérer les derniers éléments indésirables parmi les paillettes de PET.

Un système de soufflage sépare ensuite les paillettes en PET des autres types de plastiques.

Il existe d'ailleurs différentes typologies de paillettes en PET : celles en PET clair (issu des bouteilles transparentes ou bleutées claires) et celles en PET foncé (venant des bouteilles bleu foncé, vertes ou colorées). Parce que ces matières plastiques n'ont pas du tout les mêmes applications finales, il est important de bien les séparer.

II.13.5.6 Etape 06 : Les paillettes PET vont alors entamer une phase d'extrusion. Elle consiste à faire fondre les paillettes à 280°C dans une énorme machine pour donner des joncs qui seront refroidis dans l'eau puis coupés pour former des granulés.

Il existe des granulés clairs issus du PET clair et des granulés colorés issus du PET foncé.

II.13.5.7 : Etape 07 : Les granulés de PET sont ensuite purifiés par polycondensation : procédé physique consistant à éliminer les dernières impuretés à l'échelle moléculaire.

Qu'est-ce que la polycondensation ?

Il s'agit d'une succession de réactions chimiques au cours desquelles plusieurs molécules se combinent pour n'en former qu'une seule en éliminant une molécule simple (le sous-produit non désiré).

Les granulés purifiés sont ensuite essorés et séchés avant d'être conditionnées pour être acheminées vers les usines de recyclage.

II.13.5.8 : Etape 08 : Les granulés de PET sont achetés par de nouvelles entreprises qui ont pour objectif de fabriquer de nouveaux produits à partir de plastique recyclé.

II.13.5.9 : Etape 09 : Dans les usines de recyclage, les granulés de PET vont servir à la fabrication de nombreux objets de la vie courante, comme des bouteilles d'eau ou de jus de fruits, des rembourrages de couette, des écharpes en polaire etc...



Figure II.14 : les étapes de recyclage des bouteilles plastiques.

II.13.6 : Equivalence entre bouteille collectes et les résultats obtenus lorsque en les recycles

Équivalence entre emballages collectés et plastique recyclé transformé

Bouteilles PET (polytéréphtalate d'éthylène)



Flacons PEhd ou PP (polyéthylène haute densité / polypropylène)



Figure II.15 : équivalence entre emballage collectes et plastique recycles transformé.

II.14 : Conclusion

Dans ce chapitre on a parlé sur les déchets mais précisément sur le plus dangereux sur l'environnement c'est les plastique malgré qu'il minimise le cout demballage daujourdui mais leurs inconveinients sont tres tres dangereux sur notre environnement .

Alors on est dans une guerre avec ce materiaux la et la meilleur sollution c'est le recyclage pour crier une economie circulaire et proteger notre environnement

Chapitre III

Dimensionnement et
réalisation d'un
collecteur de bouteille

III.1 : Introduction

Dans ce chapitre on à proposer une solution durable qui facilite la collecte des bouteilles en plastique. Cette solution est la réalisation d'un prototype dont son rôle est la collecte des bouteilles plastiques en diminuant leurs volumes, afin de minimiser les jours de collecte. L'originalité de ce travail réside dans l'utilisation d'une source d'énergie renouvelable (énergie gratuite) pour alimenter le prototype réalisé. Cette source d'énergie est le panneau solaire photovoltaïque.

III.2 : Problématique

Pour pallier aux problèmes qui détruisent notre environnement, il faut toujours penser aux déchets plastiques. Ces derniers deviennent un élément très nuisible à l'environnement et la santé des êtres humains. Chaque jour, 70% des déchets produits par chaque famille, sont plastique. Ces déchets contiennent des éléments chimiques qui peuvent être dangereux à la santé et à l'environnement :

- ✚ Si on les brûle, ils dégagent des gaz très dangereux qui peuvent polluer l'air.
- ✚ Si on les enterre, ils polluent le sol, car une bouteille en plastique peut vivre des centaines d'années sous le sol.
- ✚ Si on les jette dans les égouts ou dans les rivières, ils polluent la mer et tuent les espèces aquatiques et enlaidir le littoral.

Pour faire face à ces problèmes, nous proposons dans notre travail la réalisation d'un collecteur de bouteilles de plastique. Ce dispositif facilite la phase de la collecte ainsi que la phase de recyclage.

III.3 : Description de collecteur

Ce collecteur est spécialisé pour les bouteilles plastiques. Son travail consiste à minimiser le volume des bouteilles pour gagner de l'espace. Ce qui facilite le stockage des bouteilles. Le dispositif est composé :

- ✚ **Un panneau photovoltaïque**

Le panneau photovoltaïque assure l'alimentation du collecteur.

- ✚ **Un moteur électrique**

Le moteur électrique exerce une force mécanique qui presse la bouteille.

- ✚ **Un système mécanique :**

Le rôle du système mécanique est de compacter le moteur électrique.

- ✚ **Une batterie**

La batterie assure l'alimentation en cas d'absence du soleil.

- ✚ **Un système électrique**

Le système électrique comporte deux circuits. Un circuit de commande à base d'Arduino et un circuit de protection.

Dans la figure ci-après on donne les composants du collecteur.

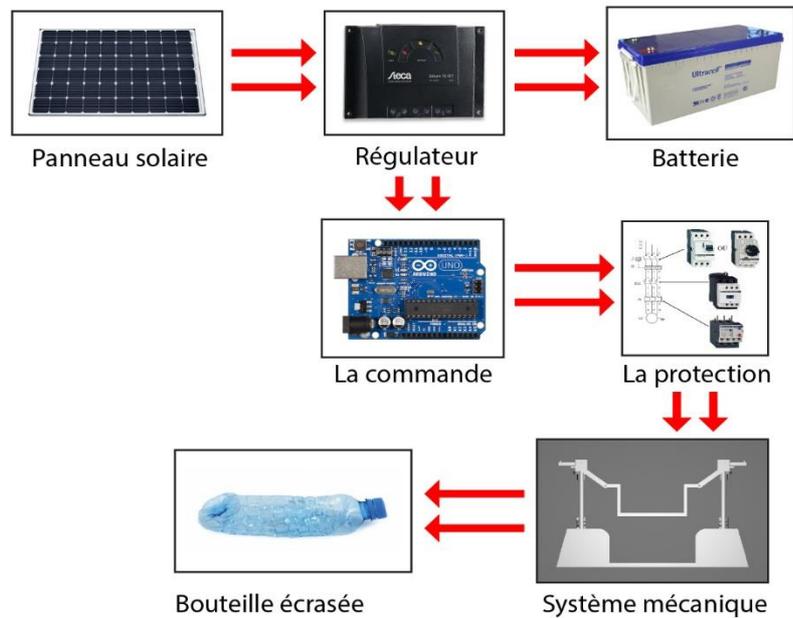


Figure III.1 : Schéma et description de collecteur

III.4 : Eléments de collecteur

III.4.1 : Moteur

Une machine électrique (moteur) est un dispositif électromécanique fondé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique par exemple en travail ou énergie mécanique. Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont communément appelées des moteurs.

Le diagramme dans la figure III.2 explique les différentes catégories de moteur électrique :

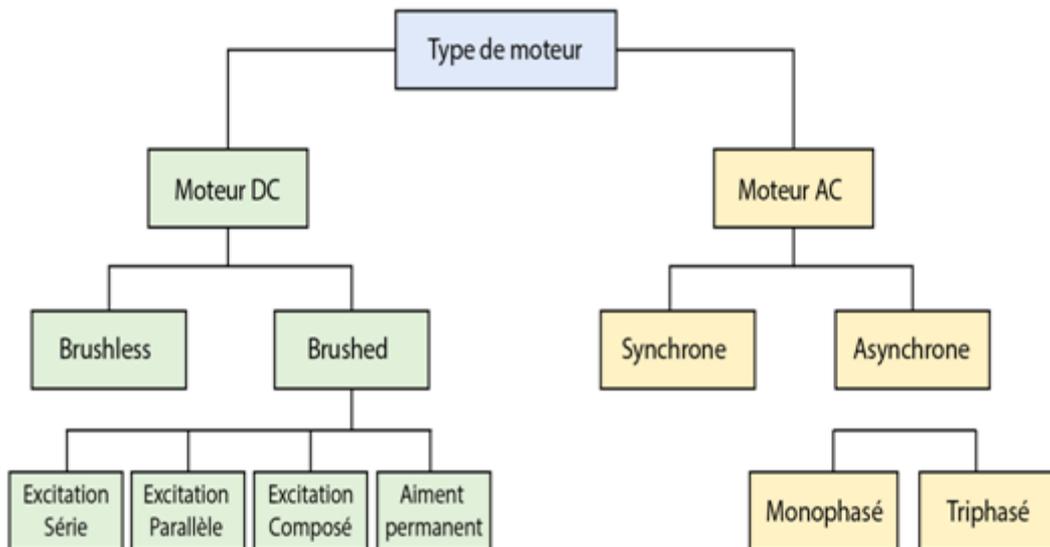


Figure III.2: Diagramme de différents types de moteurs

Ces moteurs s'imposent en effet dans un grand nombre d'applications en raison des avantages qu'ils présentent : normalisés, ils sont robustes, simples d'entretien, faciles à mettre en œuvre et de faible coût. Le principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone repose sur la création d'un courant induit dans un conducteur lorsque celui-ci coupe les lignes de force d'un champ magnétique, d'où le nom de moteur à induction. L'action combinée de ce courant induit et du champ magnétique crée une force motrice sur le rotor du moteur.

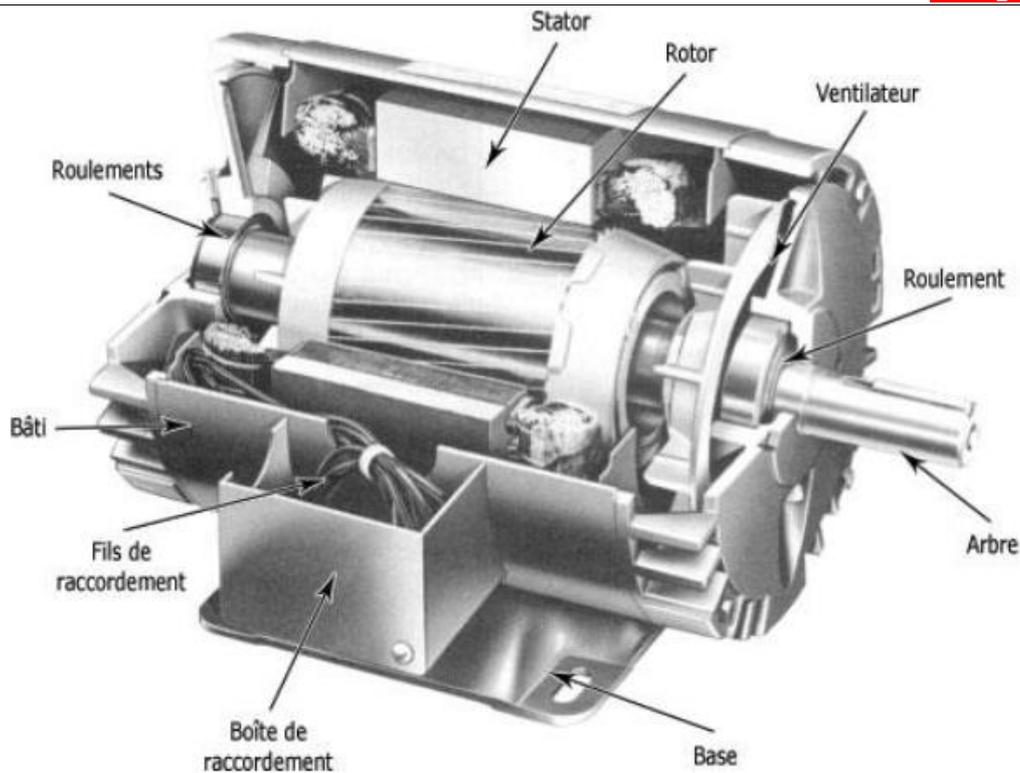


Figure III.3 : Moteur asynchrone

III.4.1.1 : Moteurs asynchrones triphasés

Un moteur asynchrone triphasé à cage comporte deux parties principales : un inducteur ou stator et un induit ou rotor.

Stator

C'est la partie fixe du moteur. Une carcasse en fonte ou en alliage léger renferme une couronne de tôles minces (de l'ordre de 0,5 mm d'épaisseur) en acier au silicium. Les tôles sont isolées entre elles par oxydation ou par un vernis isolant. Le « feuilletage » du circuit magnétique réduit les pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Les tôles sont munies d'encoches dans lesquelles prennent place les enroulements statoriques destinés à produire le champ tournant (trois enroulements dans le cas d'un moteur triphasé). Chaque enroulement est constitué de plusieurs bobines. Le mode de couplage de ces bobines entre elles définit le nombre de paires de pôles du moteur, donc la vitesse de rotation.

Rotor

C'est l'élément mobile du moteur. Comme le circuit magnétique du stator, il est constitué d'un empilage de tôles minces isolées entre elles et formant un cylindre claveté sur l'arbre du moteur. Cet élément, de par sa technologie, permet de distinguer deux familles de moteurs asynchrones : ceux dont le rotor est dit à cage, et ceux dont le rotor bobiné est dit à bagues.

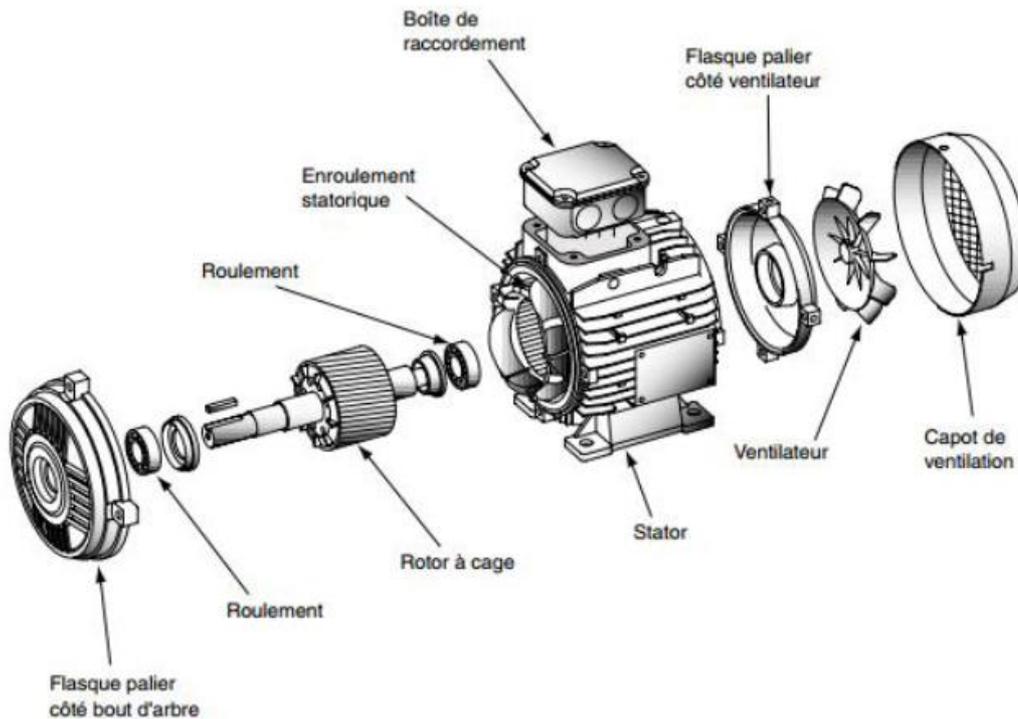


Figure III.5 : Composants de moteur asynchrone

III.4.1.2 : Moteurs monophasés asynchrones

Le moteur asynchrone monophasé, bien que moins utilisé dans l'industrie que son homologue triphasé, représente néanmoins une part d'applications non négligeable dans les petites puissances et dans les applications du bâtiment qui utilisent le réseau monophasé 230 V. A puissance égale, il est plus volumineux qu'un moteur triphasé. Par ailleurs, son rendement et son cosinus ϕ sont beaucoup plus faibles que dans le cas du triphasé et ils varient considérablement en fonction d'une part de la puissance, d'autre part du constructeur.

Le moteur monophasé, comme le moteur triphasé, est composé de deux parties : le stator et le rotor [29].

✚ Stator

Il comporte un nombre pair de pôles et ses bobinages sont raccordés sur le réseau d'alimentation.

✚ Rotor

Il est le plus souvent à cage d'écureuil.

III.4.1.3 : Moteur synchrone

Le moteur synchrone se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par l'entrefer. Il s'en différencie par le fait que le flux dans l'entrefer n'est pas dû à une composante du courant statorique : il est créé par des aimants ou par le courant inducteur fourni

par une source à courant continu extérieure qui alimente un enroulement placé dans le rotor [30].

✚ Stator

Le stator comprend une carcasse et un circuit magnétique généralement constitués de tôles d'acier au silicium et d'un bobinage triphasé analogue à celui d'un moteur asynchrone alimenté en courant alternatif triphasé pour produire un champ tournant.

✚ **Rotor :** Le rotor porte des aimants ou des bobines d'excitation parcourues par un courant continu qui créent des pôles Nord et Sud intercalés.

Remarque :

Le rotor des moteurs synchrones, à la différence des machines asynchrones tourne sans glissement à la vitesse du champ tournant.

Il existe donc deux types distincts de moteurs synchrones : les moteurs à aimants et les moteurs à rotor bobiné.



Figure III.6 : Machine synchrone

III.4.1.4 : Les moteurs à courant continu

Une machine à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique. Selon la source d'énergie il est composé de [31] :

✚ Inducteur ou du stator.

✚ Induit ou du rotor.

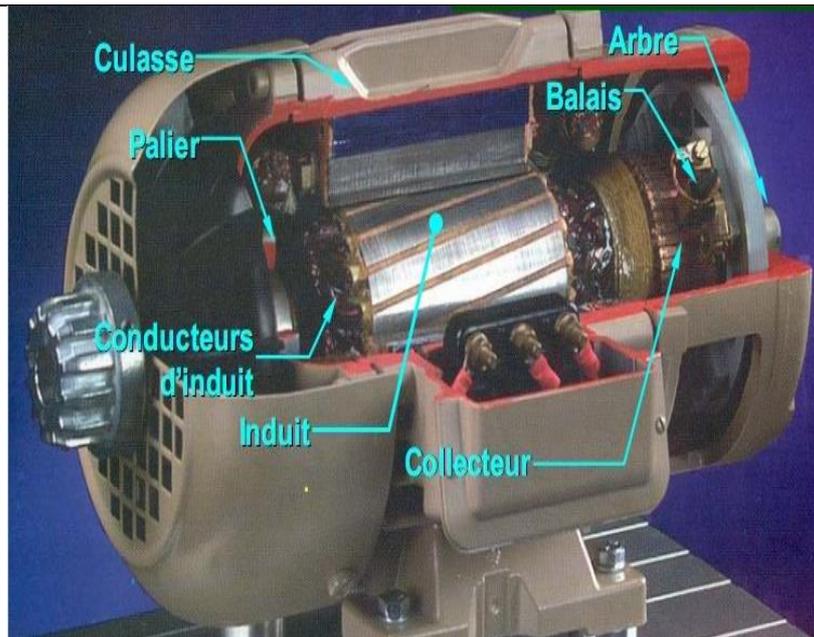


Figure III.7 : Machine à courant continu

Il existe quatre types de moteur à courant continu :

1. Moteur à excitation indépendante

Comme dans le cas des génératrices à excitation indépendante, le bobinage inducteur des moteurs à excitation indépendante est raccordé à une alimentation à courant continu séparée. Par conséquent, le courant qui alimente l'inducteur est indépendant de celui qui alimente l'induit

2. Moteur à excitation en dérivation ou shunt

Dans un moteur à excitation en dérivation, le circuit inducteur est branché en parallèle avec l'induit et, de ce fait, alimenté sous la même tension. Ce moteur a les mêmes caractéristiques que le moteur à excitation indépendante.

3. Moteur à excitation en série

Dans un moteur à excitation en série, le circuit inducteur qui produit le champ est raccordé en série avec l'induit.

4. Moteur à aimants permanents

Les moteurs à aimants permanents comportent des aimants permanents plutôt que des enroulements inducteurs pour produire le champ magnétique du stator.

Dans le tableau III.1 on va faire une comparaison entre les différents types des moteurs électriques.

Type de moteur	Asynchrone à cage triphasé	Asynchrone monophasé	Asynchrone à bague	Synchrone à rotor bobiné	Rotor terres rares	Pas à pas	Moteur A courant continu
moteur	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Elevé	Faible	Elevé
Moteur étanche	Standard	Possible	Sur demande couteux	Sur demande couteux	Standard	Standard	Possible Très couteux
Démarrage direct sur le réseau	Aise	Aise	Dispositif de démarrage particulier	Impossible à partir de quelque kw	Non prévu	Non prévu	Non prévu
Variation de la vitesse	Facile	Très rare	Possible	Fréquent	Toujours	Toujours	Toujours
Cout de la solution variation de vitesse	De plus en plus économique	Très économique	Economique	Très économique	Assez économique	Très économique	Très économique
Performance en variation de vitesse	De plus en plus élevé	Très faible	Moyenne	Elevée	Très élevée	Moyenne a élevée	Elevés a très élevée
Emploi	Vitesse constante ou variable	En majorité vitesse constante	Vitesse constante ou variable	Vitesse constante ou variable	Vitesse variable	Vitesse variable	Vitesse variable
Utilisation industriel	Universel	Pour les petites puissances	En diminution	Dans les grandes puissances en moyen tension	Machine outils forte dynamique	Positionnent en boucle ouverte pour les petites puissances	En diminution

Tableau III.1 : Comparaison entre les différents types de moteur électrique

A partir de la comparaison faite dans le tableau ci-dessus, nous avons choisi pour notre réalisation un moteur **asynchrone monophasé**.

III.4.2 : Partie mécanique

Dans notre travail la bouteille est pressée avec un système mécanique efficace dit « vise-écrou ». Dans les paragraphes suivants on détaillera ce système.

III.4.2.1 : Définition

Le système à **vis et écrou** permet de transformer un mouvement de **rotation** en un mouvement de **translation** en combinant les mouvements d'une vis et d'un écrou. Il existe **deux types de systèmes à vis et écrou**. Dans certains systèmes, c'est la **vis** qui joue le rôle d'**organe moteur**. Dans ce cas, le mouvement de rotation de la vis se transforme en mouvement de translation

pour l'écrou. Dans d'autres systèmes, c'est plutôt l'**écrou** qui constitue l'**organe moteur**. Dans ce cas, le mouvement de rotation de l'écrou se transforme en mouvement de translation pour la vis.

Sur les figures III.8, III.9 et III.10 nous présentons respectivement la face avant, la face droite et la partie mécanique en 3D de notre système. Ces figures sont réalisées par le logiciel SOLIDWORKS.

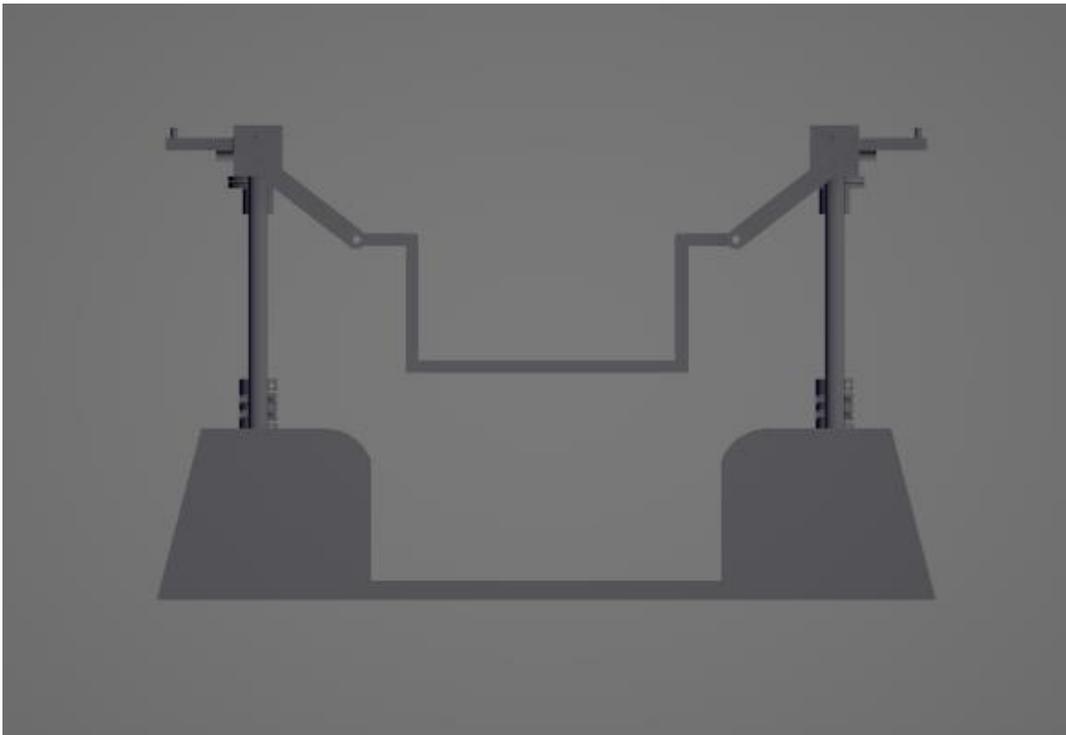


Figure III.8 : Face avant du système mécanique utilisé

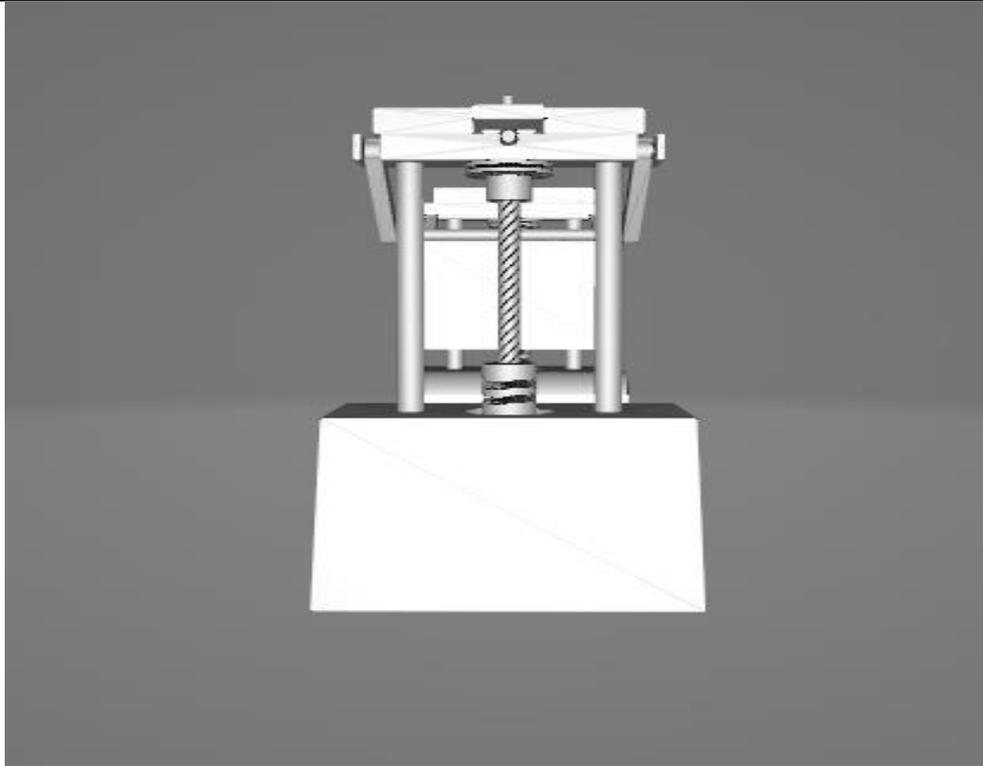


Figure III.9: Face droite du système mécanique



Figure III.10 : Système mécanique en 3D

III.4.2.2 : Avantages

Les avantages de ce système sont :

- ✚ Exercerions des forces et des pressions importantes.
- ✚ Ajustements fins.

III.4.2.3 : Inconvénients

Les inconvénients de ce système sont :

- ✚ Génération de frottement.
- ✚ Sa fragilité peut entraîner des problèmes de guidage.
- ✚ Système est lent.

Calcul de la force exercé sur la bouteille

Pour le calcul de la force exercé sur la bouteille nous avons effectué une simulation sous le logiciel ABAQUS. On a pris une bouteille plastique vide cylindrique de diamètre 8 cm et de longueur 25 cm et on à appliqué plusieurs pressions sur la surface de la bouteille. Ensuite, on à multiplié chaque pression par unité de surface pour détermine la force.

D'après la relation suivante :

$$P=F/S \quad (III.1)$$

Cela implique que :

$$F=P*S \quad (III.2)$$

Avec :

P : La pression en Pa.

F : La force exercé en N.

S : La surface en m².

La figure III.11monte les résultats de simulation après l'application d'une pression sur la bouteille.

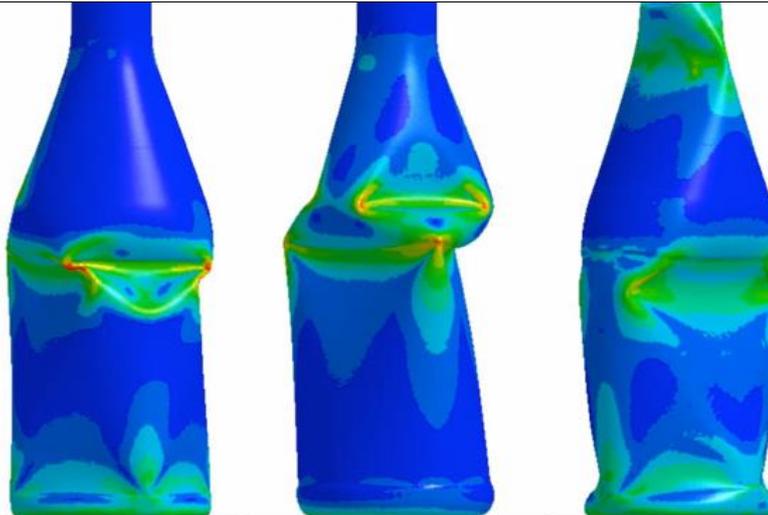


Figure III.11 : Résultats de l'application de la pression sous ABAQUS

Sur la figure III.12 nous présentons la variation du déplacement en fonction de la force appliquée à la bouteille. Le déplacement représente la nouvelle épaisseur de la bouteille après l'application de la force.

D'après les résultats de simulation, on remarque que lorsqu'on augmente la force l'épaisseur de la bouteille diminue. Aussi, on constate que après certaine forces appliquées l'épaisseur se stabilise dans un intervalle allons de 55 mm jusqu'à 58 mm (l'élasticité de plastique). Cette simulation nous a permis de choisir une force égale à **300N** car elle minimise le volume jusqu'à 60 % du volume de la bouteille initiale.

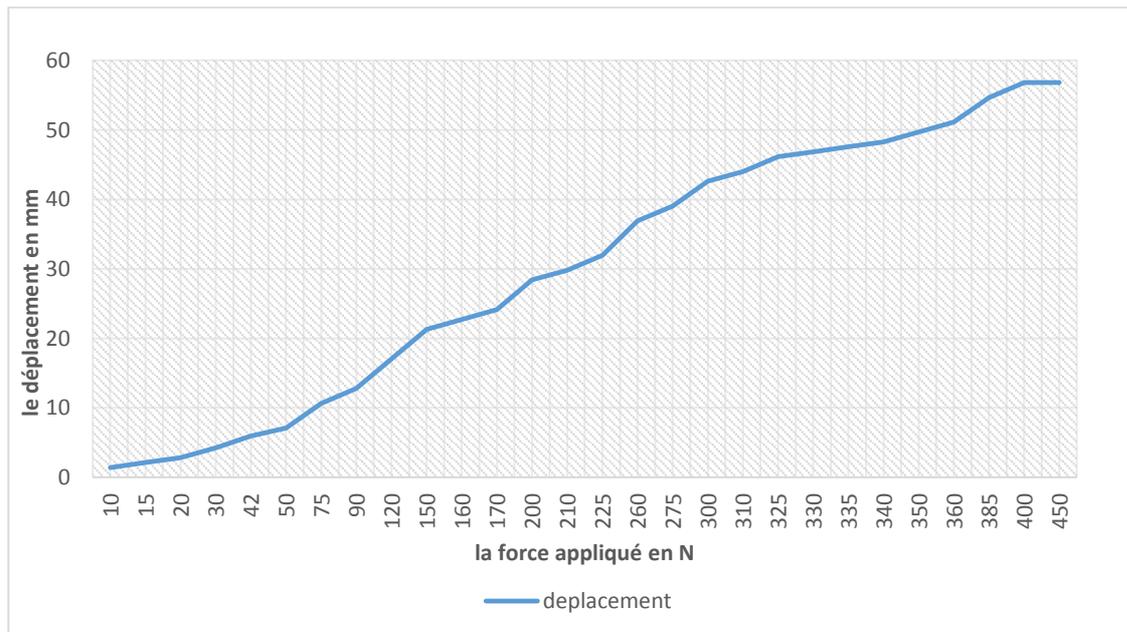


Figure III.12 : Evolution du déplacement avec la force

III.4.2.4 : Modélisation de système vise-écrou

Dans notre étude nous allons travailler par le système **vis-écrou**. Le **vis** joue le rôle d'**organe moteur** pour faire la translation de l'écrou comme le montre la figure suivante.



Figure III.13 : Système vis-écrou

La modélisation de notre système mécanique permet de donner les schémas représentés sur les figures III.14, III.15.

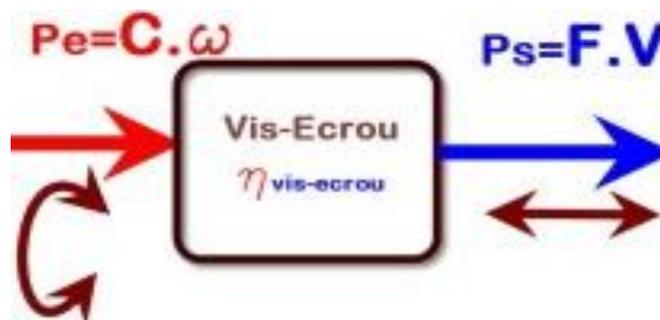


Figure III.14 : Diagramme de puissance

Ce système procède une entrée et une sortie.

- ✚ **Entrée** : énergie de **rotation**, caractérisée par une vitesse angulaire ω et un couple C .
- ✚ **Sortie** : énergie de **translation**, caractérisée par une vitesse linéaire V et une force F .

Sur la figure III.15 nous présentons le bilan de puissance détaillé relatif à notre système.

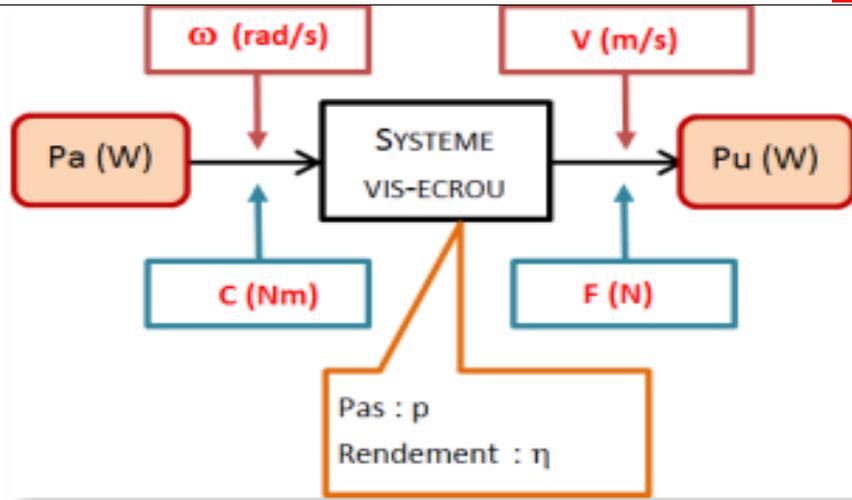


Figure III.15 : Bilan de puissance et de force

Avec :

P_a : la puissance absorbée en w.

P_u : la puissance utile en w.

V : la vitesse de déplacement d'écrou en m/s.

F : la force appliquée par le système vis-écrou en N.

w : la vitesse de rotation de moteur en rad/s.

C : le couple du moteur en Nm.

P : le déplacement relatif (en m) pour une rotation d'un tour.

η : rendement.

Dans ce système on a deux grandeurs principales pour dimensionner le moteur. Ces grandeurs sont :

✚ Le flux.

✚ L'effort.

1. Le flux

L'écrou avance d'un pas pour 1 tour de vis, soit 2π radians. On obtient ainsi une longueur parcourue :

$$L = p \cdot (\alpha / 2\pi) \quad (\text{III.3})$$

On divise l'équation III.3 par le temps, on obtient :

$$V = p \cdot (w / 2\pi) \quad (\text{III.4})$$

2. L'effort

Le système actionné en sortie demande un effort F qui va appeler un couple C à fournir en entrée. La puissance en entrée est égale à la puissance en sortie sur le rendement.

Calcul du couple

D'après le bilan de puissance on a :

$$Pa = C * w$$

(III.5)

A partir de l'équation précédente on trouve :

$$C = Pa / w \quad (III.6)$$

Dans notre travail le moteur fait tourner les deux vises et le couple est centralisé.

On à:

$$C = F * L \quad (III.7)$$

Où :

F : la force obtenu d'après la simulation sous ABAQUS.

L : le bras (la distance entre le vise est le moteur).

On prend :

$$F = 300N \text{ et } L = 12cm.$$

On trouve :

$$C = 36Nm$$

Calcul de la vitesse

On a :

$$V = p * (w / 2\pi) \quad (III.8)$$

D'après une expérience sur notre prototype on à :

$$p = 5mm.$$

$$V = 2.02 \text{ mm/s.}$$

A partir de ces deux grandeurs on détermine la puissance absorbée par moteur.

Finalement on trouve :

$$Pa = 91.34w$$

La puissance absorbé par le moteur est égale à 91.34 w. Pour assurer un fonctionnement parfait, on prend un moteur de puissance supérieur à la puissance calculée. Alors, on prend un moteur asynchrone de puissance égale à 100w.

III.4.3 : Partie électrique

III.4.3.1 : Commande du système

Dans cette section, on s'intéresse à la partie commande, qui assure l'automatisation de la partie mécanique. La commande est réalisée avec une carte ARDUINO et des capteurs.

Dans la figure III.16, nous présentons l'organigramme de la programmation de la carte ARDUINO.

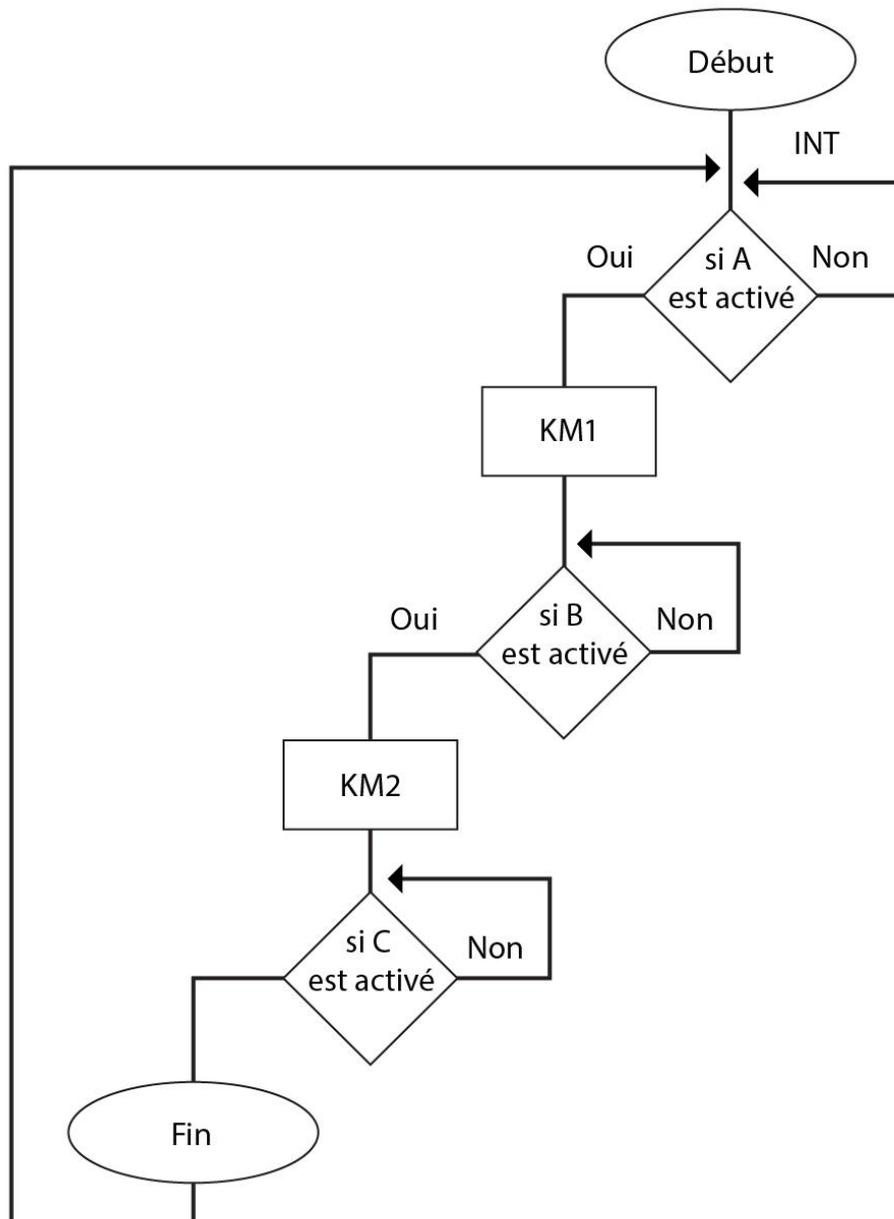


Figure III.16 : Organigramme décrivant le fonctionnement du système de compression de la bouteille

Le collecteur tolère la compression d'une seule bouteille. Il commence la compression après qu'elle soit détectée par le capteur de proximité A. Ce capteur fait signe à l'unité de contrôle pour faire tourner le moteur au sens d'écrasement. Le procédé continue jusqu'à ce que la bouteille soit aplatie par le système mécanique. Le capteur de fin de course B soit atteint par la presse. Subséquemment, le moteur tourne dans la direction opposée et revient au point de départ. Le moteur s'arrête quand le capteur de fin course C est mis en contact avec la presse.

III.4.3.2 : Dimensionnement du panneau solaire**III.4.3.2.1 : Besoin énergétique**

Pour dimensionné le nombre de panneaux solaire il faut, calculer le besoin énergétique et faire le choix du panneau disponible sur le marché.

Notre collecteur possède un bac de dimensions suivantes :

- ✓ L=1200mm.
- ✓ l=1200mm.
- ✓ h=1200mm.

Où :

L : longueur du bac.

l : largeur du bac.

h : hauteur du bac.

On comparant le volume du bac avec le volume de la bouteille écrasée, on peut calculer le nombre journalier des bouteilles écrasées stockées. Ce nombre est donné par la relation suivante :

$$N_{bs} = V_{ba} / V_{bo} \quad (\text{III.9})$$

Avec :

V_{ba} : volume du bac.

V_{bo} : volume de la bouteille écrasée.

Le volume du bac est calculer par :

$$V_{ba} = L * l * h \quad (\text{III.10})$$

Le volume de la bouteille écrasée est donné par l'équation suivante :

$$V_{bo} = 3.14 * r^2 * h * 50 \% \quad (\text{III.11})$$

Où.

r : rayon de la bouteille.

Enfin, on trouve 688 bouteilles stockées écrasées.

D'après les expériences réalisées sur le prototype, la bouteille prend 40s pour s'écrasée à 50%.

L'énergie suffisante pour écrasée les 688 bouteilles est donnée par la formule :

$$E = P * N_{bo} * t \quad (\text{III.12})$$

Après calcul on trouve :

$$E=743\text{wh.}$$

Le besoin journalier pour écraser toutes les bouteilles stockées est 743wh. Dans une heure on peut écraser 90 bouteilles.

Pour éclairer notre prototype pendant la nuit, nous avons utilisé des lampes de type led dont la puissance d'une seule lampe est égale 20w.

L'équation qui permet le calcul de l'énergie des lampes pendant 9 heures est :

$$E_l = P * t \quad (\text{III.13})$$

Le calcul nous à donné 180 wh

L'énergie totale de notre collecteur est calculée par l'équation ci-dessous :

$$E_t = E + E_l \quad (\text{III.14})$$

Finalement on trouve que l'énergie totale est égale à 923wh.

Dans le tableau suivant on présente l'irradiation de la wilaya de Mostaganem pendant toute l'année (résultats trouvés à partir du logiciel PVSYS).

Mois	Irradiation [E_{sol}] (kwh/m ² /jr)
Janvier	2.15
Février	2.28
Mars	4.20
Avril	5.30
Mai	6.54
Juin	6.79
Juillet	7.56
Août	6.42
Septembre	5.08
Octobre	3.57
Novembre	2.37
Décembre	2.18
Année	4.57

Tableau III.2 : Irradiation de la wilaya de Mostaganem

Selon les valeurs reportées sur le tableau III.2, on remarque que le mois de janvier est le mois le plus moins d'irradiation. Cela justifie le choix du panneau avec un claiement de 1000w/m.

III.4.3.2.2 : Caractéristiques du panneau

Les caractéristiques du panneau choisi sont [32]:

- ✓ Réf : NX200P.
- ✓ Poids : 20 kg.
- ✓ Puissance nominale : 200 (W).
- ✓ Tension : 12 (V).
- ✓ Tension de puissance maximale (V_{mp}) : 17.6 (V).
- ✓ Tension à vide (V_{oc}) : 21.9 (V).
- ✓ Courant de court-circuit (I_{sc}) : 12.27 (A).
- ✓ Courant à la puissance max (I_{mp}) : 11.36 (A).
- ✓ Cellules : Poly cristallines.
- ✓ Dimensions : 1324 x 992 x 40mm.
- ✓ Conditions Test Standard (CTS), définies comme suit : puissance du rayonnement de 1000 W/m² à une densité spectrale de 1.5 AM (ASTM E892).
- ✓ Température de cellule de 25 °C.
- ✓ Cellules Si poly cristallines, texturées et avec une couche anti-réflexion.
- ✓ Lamé EVA (éthylène-vinyle acétate).
- ✓ Face frontale : verre trempé de grande transmission.
- ✓ Face postérieure : tedlar à plusieurs couches.
- ✓ Cadre Aluminium anodisé.
- ✓ Boîtier de raccordement étanche : IP 65 avec diodes anti-retour.
- ✓ Certifications IEC 61215, IEC 61730 par TUV.
- ✓ Terminal de connexion : Bornes pré câblé.

Sur la figure III.17 nous présentons la photo du panneau photovoltaïque que nous avons choisi pour notre collecteur. Le choix est fait par rapport à sa puissance nominale et son coût.



Figure III.17 : Panneau solaire utilisé

III.4.3.2.3 : Calcul de l'énergie produite par le collecteur de bouteilles

L'énergie produite par le collecteur est donnée par la formule suivante :

$$E_p = E_t / C_p \quad (\text{III.15})$$

Avec :

C_p : coefficient des pertes ; il varie entre 0.65 et 0.9.

Pour notre étude nous avons choisi C_p égal à 0.75 (valeur fréquente).

On trouve le résultat suivant :

$$E_p = 1230.7 \text{ wh}$$

III.4.3.2.4 : Calcul de la puissance crête

La puissance crête produite par le panneau est déterminée par l'équation donnée ci-après

$$P_c = E_p / N_c \quad (\text{III.16})$$

N_c : l'irradiation moyenne pendant la période estival de fonctionnement.

On trouve :

$$P_c = 195.97 \text{ w}_c$$

Le nombre des panneaux est calculé par la relation suivante :

$$N_p = P_c / \text{puissance du panneau} \quad (\text{III.17})$$

La puissance du panneau est donnée par le constructeur.

Finalement on obtient :

$N_p=0.87 \approx 1$ panneau.

III.4.3.2.5 : Inclinaison et l'orientation du panneau

L'inclinaison et l'orientation du panneau permettent de maximiser le rendement de ce dernier suivant l'irradiation journalière. L'inclinaison est un angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné à 0° est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à 90° est à la verticale. **L'orientation** est un angle entre le panneau solaire et l'axe plein sud. À 0° l'angle d'orientation correspond à un panneau faisant face au sud, à 90° à l'est ou l'ouest, à 180° au nord [33].

Il est conseillé dans nos latitudes d'orienter les modules en direction du sud. L'inclinaison optimale est fonction de l'usage de l'installation :

- ✚ Pour un fonctionnement annuel.
- ✚ Pour un fonctionnement saisonnier.

Sur les sites isolés ou le besoin est annuel, il est conseillé de privilégier la production d'électricité durant la période hivernale. Une inclinaison des panneaux correspondant à la latitude du **site** + 10° permet de recevoir un maximum de rayonnement solaire en hiver, tout en gardant une production correcte durant le reste de l'année.

A Mostaganem latitude est 35° [34], alors l'inclinaison est égale à 45° .

III.4.3.3 : Les batteries

Les batteries ou accumulateurs destinées au stockage de l'électricité provenant de panneaux solaires subissent un grand nombre de cycles de charge et de décharge. Leur état de charge évolue au fil de la journée. Un phénomène accentué encore plus au cours des saisons : c'est souvent à la fin de l'hiver que les batteries sont le plus déchargées en raison d'un ensoleillement plus limité. Lorsque l'on n'est pas raccordé au réseau, l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est consommée sur place. On doit donc installer des batteries tampons qui stockeront l'énergie pour les usages de nuit sans ensoleillement.

La batterie constitue l'élément fondamental de l'installation du système photovoltaïque qui requiert la plus grande attention.

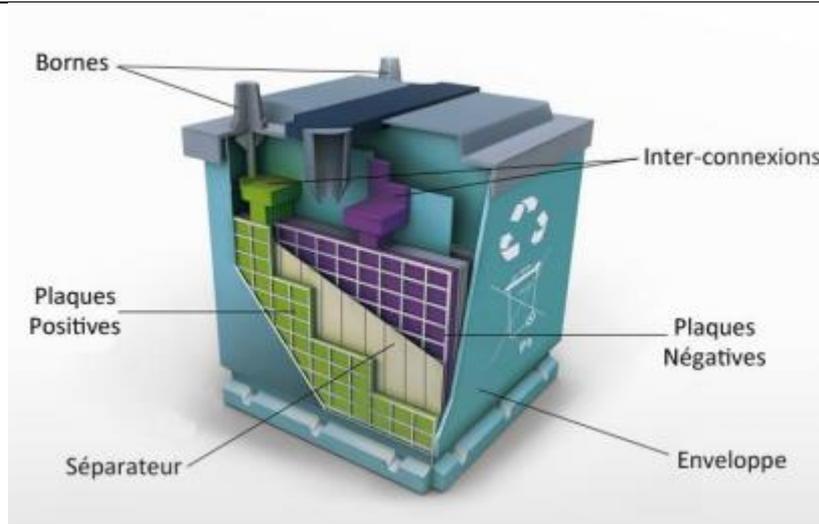
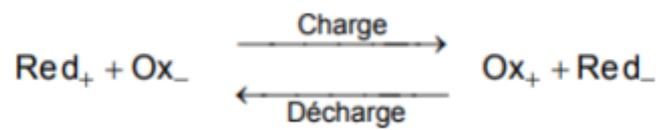


Figure III.18 : Conception d'une batterie

III.4.3.3.1 : Principe de fonctionnement général

A l'intérieur d'une batterie, une réaction d'oxydo-réduction induit un transfert d'électrons de l'anode vers la cathode.



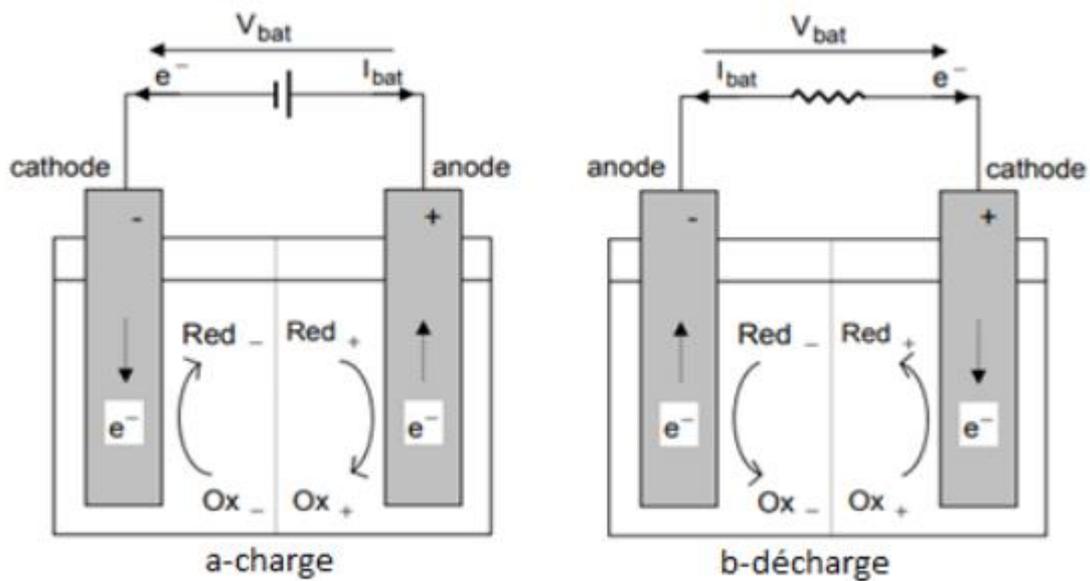


Figure III.19 : Schéma de fonctionnement de batterie

Le courant est produit par la circulation d'électrons entre deux plaques ou électrodes :

- ✚ Une électrode positive capable de céder ou de capter les électrons.
- ✚ Une électrode négative capable de céder ou de capter les électrons.

Le courant est créé par un mouvement d'ensemble des électrons qui se déplacent de l'électrode positive à l'électrode négative en passant par un fil de métal (conducteur), pour alimenter un récepteur.

III.4.3.3.2 : Calcul de la capacité de la batterie

La capacité de la batterie est déterminée par l'équation donnée ci-après :

$$C = E_t \cdot N / D \cdot U \quad (\text{III.18})$$

Avec :

E_t : énergie consommée par jour (Wh/j).

N : nombre de jour d'autonomie.

D : décharge maximale admissible (0.8 pour les batteries au plomb).

U : tension de la batterie (V).

Sur le tableau suivant nous donnons les caractéristiques de la batterie choisie pour notre réalisation.

Tension	12V
Technologie	plomb
Capacité	40Ah

Tableau III.4 : Caractéristiques de la batterie utilisée

Finalement, on trouve que la capacité de la batterie est égale à 64.41Ah.

III. 4.3.3.3 : Calcul de nombre de batterie

Le nombre d'autonomie est égal à 16 h. Durant la journée la batterie fonctionne avec l'énergie de panneau solaire. Pendant la nuit l'énergie est emmagasinée dans la batterie. On a pris 16 h par rapport à la plus grand nuit dans l'année. Le nombre de batterie utilisée dans notre prototype est donné par la formule suivante :

$$N_b = C / \text{capacité de batterie} \quad (\text{III.19})$$

Après calcul on trouve :

$$N_b = 1.6 \approx 2 \text{ batteries}$$

Donc notre prototype à besoin de deux batteries pour fonctionner.

III. 4.3.4 : Dimensionnement de l'onduleur

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de générer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique de tension ou de fréquence différente. Pour une installation autonome, l'onduleur est dimensionné en fonction des caractéristiques des modules, des batteries et des récepteurs fonctionnant uniquement en courant alternatif.

Les paramètres de dimensionnement sont : la tension d'entrée (12,24 ou 48 V) : c'est la tension à courant continu délivrée par le générateur photovoltaïque ou par le système de stockage. La tension de sortie (220 V AC à 50 HZ) : la forme de l'onde est soit sinusoïdale, soit carrée, soit encore pseudo sinusoïdale selon la nature des appareils que les récepteurs devront faire fonctionner. Le choix de la technologie dépend donc des caractéristiques du ou des récepteurs.

La puissance nominale : elle correspond à la puissance que peut délivrer l'onduleur en fonctionnement permanent, c'est-à-dire à la somme de la puissance de toutes les charges électriques susceptible d'être utilisées en même temps. En pratique, elle est définie à partir des valeurs moyennes du profil de consommation, en courant alternatif, majoré de 20 %. La puissance maximale (50% de la puissance nominale) : c'est à dire surcharge importante provenant du démarrage de certain moteur, surcharge que doit accepter l'onduleur pendant une très courte durée.

La consommation à vide ou en attente : elle doit être la plus faible possible (2% à 3% de la puissance nominale). Une consommation trop importante peut avoir des méfaits sur la capacité et la durée des batteries.

La puissance d'un onduleur est exprimée en VA (S), ou volt Ampères. Avant de choisir un onduleur, il faut faire la somme de la consommation de tous les appareils que l'on va lui connecter. La consommation est exprimée en watts, il faut la convertir des watts en VA. Pour la conversion de la puissance de l'onduleur, on utilise formule approximative suivante [35] :

$$S = p / 0.66 \quad (\text{III.20})$$

Notre collecteur vas écraser 90 bouteilles dans une heure, sa consommation est 92 w \approx 100 w. la Puissance de l'onduleur en (VA) est égale à 151.51VA.

III.4.3.5 : Dimensionnement du régulateur

Le dimensionnement du régulateur est défini une fois que le type de régulateur est retenu. Il existe deux types de régulateurs :

- ✚ Un simple régulateur de charge : il ne contrôle que la charge de batterie et évité ainsi les surcharges de la batterie ; il est utilisé pour des installations pour lesquelles le risque de décharge est quasiment nul (surdimensionnement des modules, consommation très bien maîtrisée avec une faible probabilité de dépassement, etc.,).
- ✚ Un régulateur charge-décharge : il permet, en outre, d'éviter les décharges profondes en coupant l'alimentation de tous des appareils électrique, les régulateurs charge-décharge sont bien adaptés aux applications domestiques pour lesquelles le dépassement de consommation par les occupants est fréquent.

Pour dimensionner le régulateur, il faut prendre en considération trois éléments principaux :

- ✚ La tension nominale entre les panneaux et les batteries : le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (en générale 12 V, 24V ou 48 VDC). Les régulateurs acceptent des plages de tension plus ou moins larges.
- ✚ L'intensité maximale de sortie : elle ne concerne que les régulateurs charge-décharge qui doivent accepter le courant maximal fourni simultanément par les récepteurs. Cette intensité maximale doit prendre en compte également les courants transitoires élevés produits lors des démarrages de certains appareils électriques.

À partir de ces données, il est possible de choisir la technologie de régulation à adapter à la puissance du système photovoltaïque et aux types des batteries. Les régulateurs shunt sont plus adaptés aux systèmes photovoltaïques de faible puissance, alors que les régulateurs (série) conviennent aux systèmes plus élevés [36].

Le courant du régulateur est calculé par :

$$I = P_t / U (1 + 10\%) \quad (\text{III.21})$$

Le calcul nous donne :

$$I_t = 9.16A$$

III.4.3.6 : Dimensionnement des câbles

Les câbles sont des liaisons entre les éléments de notre dispositif. Ils transmettent le courant. Donc, il est très important de calculer correctement la section des câbles pour éviter leurs l'échauffement et les pertes d'énergie.

Le courant qui traverse un câble est donné par :

$$I = P/U \quad (\text{III.22})$$

Après calcul on trouve :

$$I = 16.67A$$

La chute de tension est calculée par la formule ci-dessous :

$$\Delta U = U*(2\%) \quad (\text{III.23})$$

On trouve :

$$\Delta U = 0.24V$$

La résistance du câble est déterminée par :

$$R = \Delta U/I \quad (\text{III.24})$$

Le calcul a donné :

$$R = 0.014\Omega$$

La section du câble est calculée par l'équation suivante :

$$S = \rho * L/R \quad (\text{III.25})$$

Finalement on obtient :

$$S = 4.85\text{mm}^2$$

Pour valider la valeur trouvée de la section du câble on compare la valeur trouvée avec les valeurs données par la norme NF C 15-100.

Alors on travaille avec un câble de section 6mm².

III.4.3.7 : Protection du moteur

La protection du moteur joue un rôle très important pour le sens de rotation du moteur et pour éviter les pannes et les perturbations qui diminuent le rendement du moteur.

Dans notre travail on a choisi un moteur de puissance égale à 100 w.

Le courant nominal du moteur est déterminé par la formule suivante :

$$I_n = P/U * \cos\phi \quad (\text{III.26})$$

Avec :

$\cos\phi$: facteur de puissance ; il est égal à 0,89.

On obtient :

$$I_n = 0.51A$$

Le courant de démarrage I_d est calculé par :

$$4 * I_n < I_d < 8 * I_n \quad (\text{III.27})$$

Le courant de démarrage du moteur est compris entre 2.04A et 4.08A.

III.4.3.7.1 : Dispositifs de protection

Les dispositifs de protection utilisés sont :

- ✚ **Sectionneur** : est composé de contacts principaux et de contacts de pré-coupe. Les contacts auxiliaires : Ils coupent le circuit de commande des contacteurs avant l'ouverture des pôles du sectionneur, ce qui évite la coupure en charge.
- ✚ **Contacteur** : est un relais électromagnétique qui permet grâce à des contacts de puissance d'assurer le fonctionnement d'un récepteur. Selon les résultats trouvés du dimensionnement (courant et la tension), on choisit le contacteur de référence **ME1784434**.
- ✚ **Relais thermique** : est un appareil qui protège le récepteur (moteur) placé en aval contre les surcharges et les coupures de phase. Il surveille en permanence le courant dans le récepteur. Suivant les résultats trouvés du dimensionnement, on choisit le relais thermique de référence **LRD01**.

La figure III.20 montre le circuit de puissance et le circuit de commande du moteur utilisé pour écraser les bouteilles.

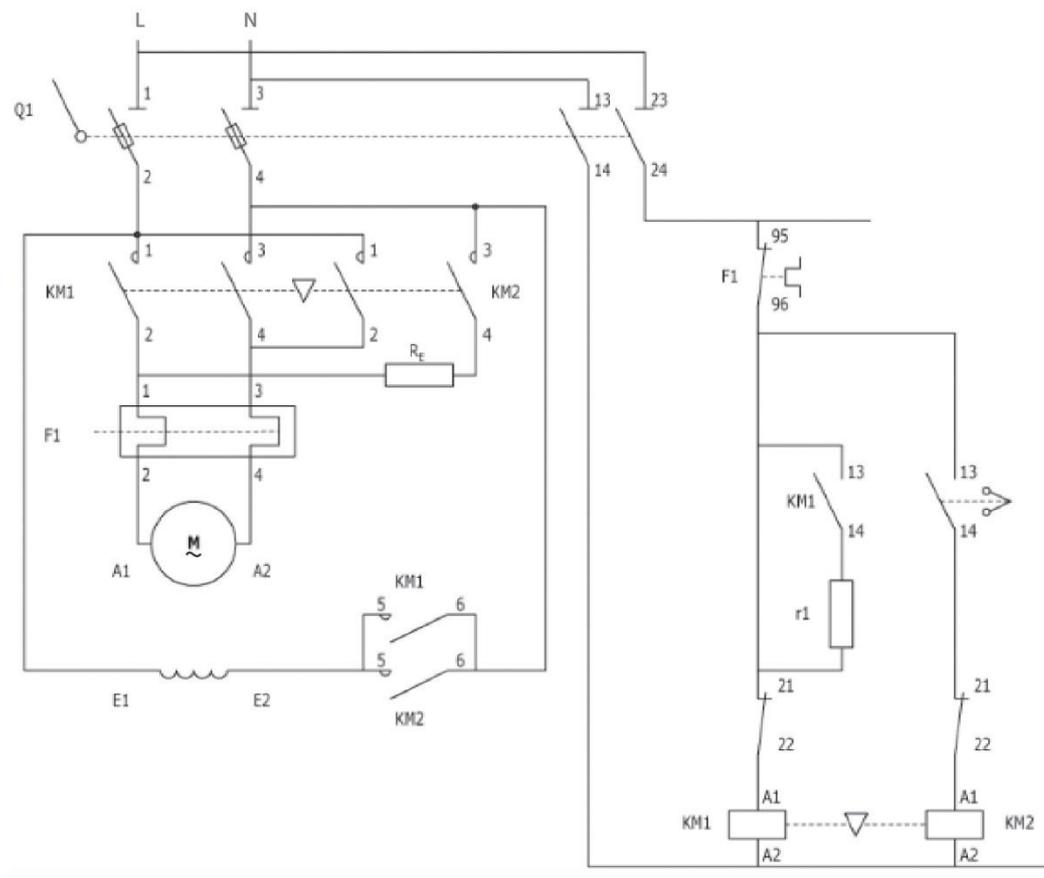


Figure III.20 : Schéma de puissance et de commande du moteur

III.5 : Etude technico-économique

Dans cette section, nous allons calculer le coût général du collecteur, ensuite on va le comparer avec les autres bacs classiques.

Sur le tableau III.5 nous présentons le coût et la quantité des appareils utilisés dans la réalisation. Ce tableau permet le calcul du coût total du collecteur. Il est égal à **69200DA** et **346 €**.

Le collecteur que nous avons réalisé a une capacité de remplissage des bouteilles égale à 688. En revanche, le bac classique a une capacité de remplissage de 414 bouteilles non pressé, ce qui résulte le déplacement du camion de décharge deux fois par jour, par contre avec notre collecteur le camion de décharge déplace une fois par jour.

Aussi, le bac classique a une dure de vie maximum 18 mois (d'après le directeur de l'environnement), par contre le bac associé au collecteur réalisé a une durée de vie minimum 6 ans.

Pour mener à bien cette étude, nous avons fait une comparaison entre le bac classique et le bac associé au collecteur pendant une durée de 6 ans. Cependant, le bac classique n'est pas

Dimensionnement et réalisation d'un collecteur de bouteille

solide (durée de vie réduite), on va le changer 4 fois pendant 6 ans ($6 \times 12 / 18 = 4$ fois), cela engendre sur le plan financier une augmentation du prix de revient ($18000DA \times 4 = 72000DA$). Enfin, cette dernière analyse à montré que le collecteur de bouteilles que nous avons réalisé présente une solution qu'on peut la préconisée pour remédier aux problèmes des déchets plastique de type bouteille.

Eléments du collecteur	Quantité	Prix	
		En (DA)	EN (€)
Panneau solaire	1	18000	90.75
Batterie	2	17200	86
Régulateur	1	2500	12.5
Onduleur	1	4500	22.5
Capteurs + ARDUINO	1	4000	20
Protection	2	4500	22.5
Système mécanique	1	3000	15
Moteur	1	3500	17.5
Chassie	1	12000	60

Tableau III.5 : Coût des éléments constituant le collecteur

III.6 : Conclusion

Ce chapitre a été consacré, dans un premier temps, au dimensionnement et conception du collecteur de bouteilles photovoltaïque. Dans une seconde étape nous nous sommes intéressés à la réalisation du collecteur. Cependant, l'étude technico-économique à montré que la solution qu'on propose pour faire face aux problèmes engendrés par les déchets plastiques (bouteilles) est une solution bénéfique.

Les travaux de recherches présentés dans ce mémoire ont une relation avec les énergies renouvelables et développement durable.

Ces dernières années, l'énergie électrique est devenue, un enjeu économique et stratégique important et un symbole de la réussite du développement économique. Cependant, il existe une relation étroite entre le développement économique des pays et l'énergie. Ce dernier ne répond pas aux besoins énergétiques et il entraîne des graves atteintes à l'environnement. Le changement climatique et l'épuisement des combustibles fossiles rendent inévitable le passage aux énergies renouvelables. Ces dernières ont continué de se développer d'une manière satisfaisante, dans un contexte marqué par la crise économique, la forte augmentation de la consommation énergétique et par la volatilité des cours pétroliers.

La matière plastique est présente dans notre vie quotidienne. Au-delà de leur atout, une fois consommée, elle génère des déchets volumineux par rapport à leur poids. Ces déchets occupent un volume important dans les points de collecte et de gestion de déchets. Elle met entre 100 et 1000 ans à se dégrader dans la nature. Cela peut avoir des conséquences sur la faune et la flore, et aussi pour faire des économies. Cependant, l'heure est venue de satisfaire le marché interne en augmentant la capacité de récupération du plastique et le recycler en produits selon les besoins.

Sur la base de ce constat, l'objectif ces travaux repose sur la conception, dimensionnement et la réalisation d'un prototype qui facilite la collecte des bouteilles en plastique. Ainsi, un intérêt grandissant a été accordé à l'alimentation du prototype, nous avons donc utilisé une énergie de substitution qui soit propre, inépuisable et qui favorise l'accès à l'énergie pour tous. Cette énergie est offerte gratuitement par la nature : il s'agit d'énergie solaire photovoltaïque. Les séries de tests effectués sur le collecteur de bouteille ont montré que le bac associé au collecteur réalisé possède une capacité de stockage de bouteilles supérieures au bac classique.

Pour finir, nous considérons que les objectifs fixés au départ ont été atteints dans leur globalité. Les perspectives d'étude sont cependant nombreuses. Ainsi, il serait intéressant d'orienter les travaux futurs selon les axes suivants :

- ✚ Renforcé le collecteur réalisé par un capteur de plastique pour la détection des bouteilles en plastique.
- ✚ Adapté le collecteur réalisé avec d'autres types de déchets tel que :
 - ✓ Les cannettes.
 - ✓ Le carton.

Les références

[1] site web <https://youmatter.world/>.

[2] moteur de recherche Wikipédia.

[3], benchenina ibrahim abdelmadjid abbou wissem « dimensionnement photovoltaïque pour alimenter un kiosque » obtention licence en électrotechnique université Abdelhamid ben badis faculté science et technique département génie électrique 2018.

[4] Thomas Mambrini «Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies » thèse de doctorat paris-sud école doctorale stits, laboratoire de génie électrique de Paris (LGEP) ,discipline physique, soutenue le 16/12/2014.

[5] site web <https://www.lepanneausolaire.net/>.

[6] Zouhair El Jouad « Réalisation et caractérisation des cellules photovoltaïques organiques » Mémoire présenté en vue de l'obtention du Grade de Docteur de l'Université d'Angers Sous le sceau de l'Université Bretagne Loire Physique .Université d'Angers, 2016. Français.

[7] BERREZZOUG Hanane « Principe de fonctionnement et mesure des caractéristiques d'une cellule photovoltaïque » Université Dr Moulay Tahar de Saida, faculté des sciences, département de PHYSIQUE Mémoire de MASTER filière : physique, spécialité physique des matériaux Soutenu le : 09 / 06 /2016.

[8] C. Longeaud. Brevet pour le système de réponse spectrale.

[9] K. Kety , K.A. Amou , K. Sagna , K. Tepe, Y. Lare et K. Napo « Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque: Cas du module poly-cristallin Eco line LX-260P » installé au dispensaire de Sévagan (Togo) Laboratoire sur L'Energie Solaire, Département de Physique Faculté Des Sciences, Université de Lomé, , Togo 1 Centre Informatique et de Calcul, Université de Lomé, B.P. 1515, Lomé, Togo , accepté le 25 Décembre 2016.

[10] Brahim Djemaci « La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité » THÈSE de doctorat en sciences économiques Université de Rouen Le 27 novembre 2012.

[11]site web : <http://www.cntppdz.com/> Loi n° 01 - 19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

[12] site web <https://webcache.googleusercontent.com/>.

[13]Brahim Djemaci et Malika Ahmed Zaid Chertouk « la gestion intégrée des déchets solides en algerie contraintes et limites de sa mise en œuvre ».laboratoire CARE EA-2260, groupe de recherche en économie, Université de Rouen, laboratoire REDYL Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, document de travail CIRIEC N°2011/04.

[14] Asnour Meriem « Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'ouest algérien » Université de Mostaganem Abdelhamid Ibn Badis, La faculté des sciences et de latechnologie, thèse de doctorat, spécialité Génie des procédés, Option génie analytique et environnemental soutenue le 03 Mai 2017.

- [15] Rey, A. (2007). Le nouveau petit Robert de la langue française 2007. Paris, Dictionnaires Le Robert. 2837 p.
- [16] Rey, A. (1992). Dictionnaire historique de la langue française – Tome 2. Paris, Dictionnaires Le Robert. 2383 p.
- [17] Plastics Historical Society (PHS) (2010). Bois Durci. In The Plastics Historical Society. Plastics Historical Society. <http://www.plastiquarian.com/index.php?id=47> (Page consultée le 30 janvier 2013).
- [18] Plastics Historical Society (PHS) (2010). Bois Durci. In The Plastics Historical Society. Plastics Historical Society. <http://www.plastiquarian.com/index.php?id=47> (Page consultée le 30 janvier 2013).
- [19] Laurent Gélinas Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.) maitrise en environnement université de Sherbrooke Mai 2013.
- [20] Helmenstine, A. M. (2012b). Cellulose Acetate. In Chemistry About. Chemistry. <http://chemistry.about.com/od/factsstructures/ig/Chemical-Structures---C/Cellulose-Acetate.htm> (Page consultée le 31 janvier 2013).
- [21] Reyne, M. (1998). Les plastiques. Paris, PUF. 125 p.
- [22] Olivier, M. (7 février 2013). Notions de base sur les matières plastiques. Courrier électronique à Laurent Gélinas, adresse destinataire : laurent.gelinas@usherbrooke.ca.
- [23] Abdoulaye SEYNI Propriétés physico-chimiques et d'usage de matériaux composites à charge dégradable produits par Co-broyage Délivré par L'institut National Polytechnique de Toulouse Discipline ou spécialité : Génie des Procédés et Environnement soutenue Le 11 décembre 2008.
- [24] site web <https://www.franceinter.fr/>.
- [25] site web <https://www.futura-sciences.com/>.
- [26] site web : <http://www.wwf.fr/>.
- [27] moteur de recherche Wikipédia.
- [28] site web www.valorplast.com
- [29] L.Baghli « Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone » universite de telemcen Aboubakr Belgaid Faculté de Science et Technique,2020.
- [30] Saber Laamiri. « Commande des systèmes électriques: machines synchrones et convertisseurs multi-niveau »,thèse de doctorat Automatique/Robotique. Ecole centrale de Nantes,2019.
- [31] Claude CHEVASSU « Machines À Courant Continu » 21 septembre 2014

[32] site e-commerce Amazon.

[33] site web : <https://terresolaire.com/>.

[34] moteur de recherche Wikipédia .

[35] Les onduleurs : comment choisi son onduleur « www.europ-computer.com »

[36]. Sylvain Brigand « Installations solaires photovoltaïque » Dimensionnement Installation et mise en œuvre Maintenance “ Groupe Moniteur (Editions du Moniteur) Paris,

Introduction générale