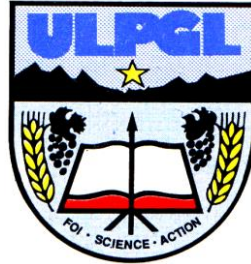


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES
APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

CONTRIBUTION A LA VALORISATION DES DECHETS
PLASTIQUES EN TUYAUX PAR LE PROCEDE
D'EXTRUSION. Cas de l'usine GEP

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
de Bachelor en Sciences de l'Ingénieur

Par **KAVIRA VAKATSURAKI Christelle**

Option : Génie Civil

Directeur : Prof. Haddy MBUYI KATSHIATSHIA

Encadreur : Msc Ir David MUGANZA

ANNEE ACADEMIQUE 2022 - 2023

Epigraphe

« De la poubelle à la perfection : transformer les déchets plastiques en trésors utiles. »

Auteur anonyme

Dédicace

A tous ceux qui me sont chers.

KAVIRA VAKATSURAKI Christelle

Remerciements

De prime à bord nous adressons nos remerciements les plus profonds à l'Eternel Dieu qui ne cesse de nous sauvegarder et qui par sa bonté illimitée nous accorde vie, grâce et miséricorde.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent au Professeur Haddy MBUYI KATSHIATSHIA MUKOLE PhD qui malgré ses multiples responsabilités s'est donné à nous superviser tout au long de la rédaction de notre travail ainsi qu'au Master Ingénieur Civil David MUGANZA.

Nos profonds remerciements s'adressent au corps tant scientifique qu'académique de l'Université Libre des Pays des Grands Lacs en général, et d'une manière particulière au personnel de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur pour la qualité de formation reçue.

Nos remerciements s'adressent à nos parents TSONGO MASUA Christian et KAHAMBU VIKUNGU Semerithe qui depuis notre enfance n'ont pas cessé de nous assister tant moralement, financièrement que matériellement.

Nous remercions nos frères Célestin, Célestine, Joël, Israël, Kevin, Thérèse pour la sympathie et leur soutien sans faille qu'ils n'ont cessé de témoigner à notre égard.

Enfin notre gratitude s'en va à tous nos amis et camarades de promotion, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce présent travail.

KAVIRA VAKATSURAKI Christelle

Résumé

Dans ce travail il a été question de faire une étude qui porte sur la valorisation des déchets plastiques et la production des tuyaux en polyéthylène haute densité afin de réduire l'impact négatif des déchets plastique sur l'environnement et créer des nouvelles opportunités économiques dans le secteur de génie civil. Au premier chapitre nous avons parlé des matières plastiques tout en présentant leurs procédés d'obtention, leurs avantages et inconvénients puis des déchets et leur gestion. En second lieu une étude de production des tuyaux en PEHD a été présentée qui était élaborée suivant le procédé d'extrusion utilisé dans l'entreprise GEP. Pour finir les différents pistes des solutions ont été présentés au troisième chapitre et comprennent quelques décisions gouvernementales : Limiter la quantité de production des plastiques afin de minimiser la génération des déchets plastiques à la base, sensibilisation et éducation afin de favoriser une prise de conscience collective des citoyens, le recyclage et la valorisation des déchets plastiques afin de donner une seconde vie aux matériaux pour préserver les ressources naturelles et réduire l'impact environnemental de la production des plastiques vierges. Ainsi si les différents résultats présentés dans ce travail sont mis en pratique nous aurons réduit ce problème de gestion des déchets plastiques tout en assurant la protection de l'environnement et répondre d'une manière économique à la production d'un bon nombre des tuyaux en PEHD qui sera utile dans le secteur de génie civil.

Mots clés : Déchets, plastiques, tuyaux, polyéthylène, extrusion, recyclage.

Abstract

The aim of this work was to study the recycling of plastic waste and the production of high-density polyethylene pipes in order to reduce the negative impact of plastic waste on the environment and create new economic opportunities in the civil engineering sector. In the first chapter, we discuss plastic materials, their production processes, advantages and disadvantages, and waste and waste management. Secondly, a study of HDPE pipe production was presented, based on the extrusion process used at GEP. Finally, in the third chapter, the various avenues for solutions were presented, including a number of government decisions: limiting the quantity of plastic production in order to minimize the generation of plastic waste at grass-roots level; awareness-raising and education in order to promote collective awareness among citizens; and recycling and recovery of plastic waste in order to give materials a second life, thereby preserving natural resources and reducing the environmental impact of virgin plastic production. Thus, if the various results presented in this work are put into practice, we will have reduced the problem of plastic waste management, while at the same time ensuring environmental protection and responding in an economical way to the production of a good number of HDPE pipes that will be useful in the civil engineering sector.

Key words: Waste, plastics, pipes, polyethylene, extrusion, recycling.

Table des matières

EPIGRAPHE	I
DEDICACE	II
REMERCIEMENTS	III
RESUME	IV
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIERES	VI
LISTE DES ABREVIATIONS	IX
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES FIGURES	XI
CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES	3
1.1 INTRODUCTION	3
1.2 DEFINITION	3
1.3 TYPES.....	3
1.4 PROCEDES D'OBTENTION DES MATIERES PLASTIQUES	6
1.4.1 <i>Procédé d'obtention des thermoplastiques</i>	6
1.4.2 <i>Procédé d'obtention des thermodurcissables</i>	6
1.4.3 <i>Procédé d'obtention des élastomères</i>	7
1.5 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES MATIERES PLASTIQUES	7
1.6 DECHETS ET LEUR GESTION	8
1.6.1 <i>Déchets</i>	8
1.6.2 <i>Gestion</i>	9
1.7 CONCLUSION PARTIELLE	10
CHAPITRE 2 ETUDE DE LA PRODUCTION DES TUYAUX EN PEHD PAR LE PROCEDE D'EXTRUSION (CAS DE L'ENTREPRISE GEP)	11
2.1 INTRODUCTION	11
2.2 VALORISATION DES DECHETS PLASTIQUES	11
2.2.1 <i>Valorisation des thermoplastiques</i>	11
2.2.1.1 Le recyclage mécanique	12

2.2.1.2	Le recyclage chimique	12
2.2.1.3	Le recyclage thermique	12
2.2.2	<i>Valorisation des thermodurcissables</i>	14
2.2.2.1	Valorisation énergétique	14
2.2.2.2	Le recyclage chimique avancé	14
2.2.3	<i>Valorisation des élastomères</i>	14
2.2.3.1	Le broyage et la réutilisation	15
2.2.3.2	Le recyclage des pneus	15
2.3	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA VALORISATION DES DECHETS PLASTIQUES	15
2.4	VALORISATION DES DECHETS PLASTIQUES EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO	16
2.5	VALORISATION DES DECHETS PLASTIQUES DANS LA VILLE DE GOMA	17
2.6	ETABLISSEMENT GOMA EXTRUSION PLASTIQUE (GEP)	18
2.6.1	<i>Présentation de l'établissement</i>	19
2.6.1.1	Situation géographique	19
2.6.1.2	Historique	19
2.6.1.3	Moyens financiers	19
2.6.2	<i>Procédés de production des tuyaux en PEHD</i>	20
2.6.2.1	Acquisition de la matière première	20
2.6.2.2	Découpage de la matière première	21
2.6.2.3	Broyage de la matière première	22
2.6.2.4	Triage et tamisage	23
2.6.2.5	Traçabilité des matières premières recyclées utilisées	25
2.6.2.6	Extrusion	26
2.6.3	<i>Défis et obstacles rencontrés dans le processus d'extrusion des bidons, seaux, chaises plastiques</i> ..	27
2.6.4	<i>Utilisation des tuyaux en polyéthylène haute densité en génie civil</i>	28
2.6.4.1	En structure et ouvrage d'art	29
2.6.4.2	En hydraulique et constructions hydrauliques	30
2.6.4.3	En transport et voies de communication	30
2.6.4.4	En ponts et chaussées	31
2.6.5	<i>Avantages et inconvénients de l'utilisation des tuyaux en PEHD en Génie civil</i>	32
2.6.5.1	Avantages	32
2.6.5.2	Inconvénients	32
2.7	CONCLUSION PARTIELLE	33
CHAPITRE 3 PISTES DES SOLUTIONS LIEES A LA VALORISATION DES DECHETS PLASTIQUES		34
3.1	INTRODUCTION	34

3.2	PROBLEMES EMMENANT DES DECHETS PLASTIQUES	34
3.2.1	<i>Pollution de l'environnement</i>	35
3.2.2	<i>Obstruction des réseaux d'assainissement</i>	35
3.2.3	<i>Problème de gestion des déchets</i>	36
3.2.4	<i>Altération des ouvrages d'infrastructures</i>	36
3.3	PISTES DES SOLUTIONS.....	36
3.3.1	<i>Réduction à la source</i>	37
3.3.2	<i>Recyclage et valorisation</i>	37
3.3.3	<i>Sensibilisation et éducation</i>	37
3.3.4	<i>Interdiction des plastiques à usage unique</i>	38
3.3.5	<i>Développement de plastiques biodégradables</i>	38
3.3.6	<i>Nettoyage des déchets plastiques</i>	38
3.3.7	<i>Encourager l'écoconception</i>	39
3.3.8	<i>Responsabilisation des producteurs</i>	39
3.3.9	<i>Renforcer la réglementation</i>	39
3.3.10	<i>Encourager l'innovation</i>	40
3.3.11	<i>Collaboration internationale</i>	40
3.3.12	<i>Promouvoir l'économie circulaire</i>	41
3.3.13	<i>Soutenir les initiatives locales</i>	41
3.3.14	<i>Impliquer les entreprises</i>	41
3.3.15	<i>Evaluer et suivre le progrès</i>	42
3.4	CONCLUSION PARTIELLE	42
	BIBLIOGRAPHIE	45
	ANNEXE A : ELEMENTS CONSTITUANTS L'EXTRUDEUSE DE GEP	48

Liste des abréviations

ADEME	: Agence du Développement de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
CO ₂	: Dioxyde de carbone
GEP	: Goma Extrusion Plastique
[GJ]	: Giga joule
[gr/cm ³]	: Gramme par centimètre cube
[kg]	: Kilogramme
[kW]	: Kilo Watt
[kJ/kg]	: Kilo joule par kilogramme
[kgCO ₂ /kg]	: Kilogramme dioxyde de carbone par kilogramme
[K ⁻¹]	: Kelvin moins un
MP	: Matière première
[Mpa]	: Méga Pascal
[m]	: mètre
[mm]	: millimètre
PEHD	: Polyéthylène Haute Densité
PVC	: Polychlorure de Vinyle
RDC	: République Démocratique du Congo
[tr/min]	: tour par minute
UV	: Ultraviolet
[V]	: volt
[°C]	: degré Celsius
[%]	: pourcentage

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Types, composition, production annuelle, propriétés des matières plastiques [3]	3
Tableau 1.2 Avantages et inconvénients des matières plastiques [3].....	7
Tableau 1.3 Types de déchets, origine et illustrations [8].....	8
Tableau 1.4 Gestion des déchets [8].....	9
Tableau 2.1 Avantages et inconvénients de la valorisation des déchets plastiques [9].....	15

Liste des figures

Figure 1.1 Déchets ménagers	8
Figure 1.2 Déchets industriels	8
Figure 1.3 Déchets électroniques.....	8
Figure 1.4 Déchets plastiques	9
Figure 1.5 Déchets organiques	9
Figure 1.6 Déchets chimiques	9
Figure 1.7 Déchets de construction	9
Figure 1.8 Déchets radioactifs	9
Figure 2.1 Matières premières	21
Figure 2.2 Matières premières découpées	21
Figure 2.3 Broyeur.....	22
Figure 2.5 MP broyée	23
Figure 2.6 Tamis.....	24
Figure 2.7 Colorant.....	24
Figure 2.8 MP tamisée.....	24

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte

Toute activité entreprise par l'homme génère des déchets parmi lesquels, les déchets plastiques constituent une part importante. Actuellement, plusieurs procédés sont utilisés pour valoriser les divers déchets (biométhanisation pour les déchets organiques, recyclage pour les matériaux de construction et les déchets plastiques, etc.). Cependant, la valorisation des déchets plastiques reste un sujet crucial dans le contexte actuel basé sur la gestion durable des ressources.

2. Problématique

On note, qu'avec la croissance démographique, la production et la consommation des matières plastiques ne cessent d'augmenter. Cette situation constitue un problème majeur qu'à la gestion et à l'élimination des déchets plastiques par toutes parties prenantes (gouvernements, entreprises et citoyens) [1] qui nous a poussé à nous poser les questions suivantes :

- ❖ Comment peut-on valoriser les déchets plastiques ?
- ❖ Quelles seraient les pistes de solution liées aux problèmes de pollution en déchets plastiques ?

3. Hypothèses

Afin d'apporter des solutions idoines à ce problème, il est essentiel d'explorer des pistes des solutions innovantes en vue de la valorisation des déchets plastiques. Ceci permettra de réduire leur impact négatif sur l'environnement et contribuera, également, de créer de nouvelles opportunités économiques. Ainsi, parmi ces solutions, nous allons, dans le cadre de ce travail, nous intéresser à la valorisation locale des tuyaux en polyéthylène haute densité à partir des matières plastiques usées proposée par l'entreprise de droit congolais « Goma Extrusion Plastique ».

4. Objectifs

✓ Objectif principal

Explorer les moyens de valoriser les déchets plastiques au travers de l'étude de la production des tuyaux en PEHD par le procédé d'extrusion des matières plastiques.

✓ Objectifs spécifiques

- ❖ Evaluer les différentes méthodes de valorisation des déchets plastiques ;
- ❖ Analyser les avantages et les inconvénients de l'utilisation des tuyaux en PEHD dans le domaine de la construction ;
- ❖ Sensibiliser le public à l'importance de la valorisation des déchets plastiques et encourager l'adoption de comportements plus durables dans la gestion de déchets.

5. Subdivision du travail

Pour atteindre l'objectif principal de cette étude, ce travail est subdivisé en trois chapitres, hormis l'introduction et la conclusion. Le premier chapitre présente les généralités sur les matières plastiques. Le deuxième chapitre explique comment les déchets plastiques peuvent être valorisés en des tuyaux en polyéthylène de haute densité (PEHD) par le procédé d'extrusion qui est pratiqué par l'entreprise Goma Extrusion Plastique (GEP, en sigle). Et enfin, le troisième et dernier chapitre présente les pistes des solutions pour lutter efficacement contre les problèmes de pollution liés à l'utilisation des déchets plastiques.

Chapitre 1 GENERALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES

1.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons parler de la définition, des types, des procédés d'obtention, des avantages et inconvénients ainsi que de la gestion des matières plastiques, en général.

1.2 Définition

Les matières plastiques sont des matériaux synthétiques ou semi-synthétiques qui peuvent être moulés en différentes formes et conservent leur forme une fois refroidis. Ils sont généralement organiques et sont composés de polymères qui sont de grandes molécules constituées de répétitions de motifs plus simples appelés monomère [2].

1.3 Types

Le Tableau 1.1 présente les types de plastiques, leur composition, leur production annuelle, quelques propriétés et leur usage.

Tableau 1.1 Types, composition, production annuelle, propriétés des matières plastiques [3]

Types	Composition	Production annuelle	Propriétés	Usages
Thermoplastiques	Polychlorure de vinyle (PVC)	54 millions de tonnes par an	-Densité (1,35 à 1,45 g/cm ³) -résistance élevée à la flexion -température d'utilisation 60 à 70°C	Isolants, films rétractables, revêtements de sol, etc.
	Polyéthylène (PE)	120 millions de tonnes par an	-Densité 0,910 à 0,940 g/cm ³ pour le PEBD et 0,940	Bouteilles, conduites de gaz, films

			à 0,970 g/cm ³ pour le PEHD -Bonne résistance chimique -Résistance à la traction élevée variant en fonction de la densité et du type du PE	d'emballages, etc.
	Polypropylène (PP)	75 millions de tonnes par an	-Densité 0,895 à 0,905 g/cm ³ -Bonne résistance à la flexion -Température de fusion 160 à 170°C	Emballages réutilisables, tables, les boîtes de rangement, etc.
Thermodurcissables	Résines époxy	2 à 3 millions de tonnes par an	-Résistance à la traction 55 à 70 Mpa, résistance à la flexion 90 à 120 Mpa -Bonne adhérence avec les métaux et composites -Température de transition	Adhésifs et colles, composites renforcés de fibres, cartes de circuit imprimé, etc.

			vitreuse typique 60 à 120°C	
	Résines phénoliques	4 à 5 millions de tonnes par an	-Température de transition vitreuse typique 120 à 150°C -Bonne résistance chimique et à la flamme, etc.	Isolation électrique, matrices pour les composites renforcés de fibres dans la déconstruction, etc.
	Résines de polyester insaturé	15 à 20 millions de tonnes par an	-Résistance à la traction typique 30 à 70 Mpa, résistance à la flexion 60 à 120 Mpa -Bonne résistance chimique et à la corrosion	Revêtements des toits et piscines, canalisations, etc.
Elastomères	Caoutchouc naturel	14 à 15 millions de tonnes par an	-Résistance à la traction 20 à 50 Mpa, allongement à la rupture supérieur à 500% -Température d'utilisation max 80 à 100°C	Fabrication de tapis, gants, etc.
	Caoutchouc synthétique	13 à 14 millions de tonnes par an	-Résistance à la traction 10 à 25	Fabrication des courroies de

			Mpa, allongement à la rupture supérieur à 500% -Température d'utilisation max 80 à 100°C	transmission, etc.
	Caoutchouc nitrile (NBR)	500000 de tonnes par an	-Résistance à la traction 10 à 25 Mpa, allongement à la rupture supérieur à 300% -Température d'utilisation max 100 à 120°C	Fabrication des tuyaux et tubes résistants aux huiles, etc.

1.4 Procédés d'obtention des matières plastiques

1.4.1 Procédé d'obtention des thermoplastiques

Les thermoplastiques sont généralement obtenus par des procédés de polymérisation en solution, en masse ou en suspension. Ces procédés impliquent la réaction chimique de monomères (molécules simples) pour former des chaînes polymères linéaires ou ramifiées [4].

1.4.2 Procédé d'obtention des thermodurcissables

On obtient les thermodurcissables par les procédés de polymérisation en masse ou en solution, où les monomères réagissent pour former des réseaux tridimensionnels [5].

1.4.3 Procédé d'obtention des élastomères

Les procédés par lesquels les élastomères sont obtenus sont les procédés de polymérisation en émulsion, en solution ou en masse, où les monomères se lient pour former des chaînes polymères flexibles [6].

1.5 Avantages et inconvénients des matières plastiques

Le Tableau 1.2 présente les avantages et les inconvénients des matières plastiques.

Tableau 1.2 Avantages et inconvénients des matières plastiques [3]

Avantages	Inconvénients
Légèreté : les plastiques sont légers avec une densité de 0,895 à 1,45g/cm ³ , ce qui les rend facile à manipuler et à transporter.	Pollution : les matières plastiques peuvent contribuer à la pollution de l'environnement de plus de 14 millions de tonnes chaque année en raison de leur longue durée de décomposition.
Résistance : les plastiques peuvent être résistants à la corrosion, à l'humidité et à certains produits chimiques, ayant une résistance moyenne à la traction de 10 à 70Mpa et une résistance moyenne à la flexion de 60 à 120Mpa.	Dépendance aux combustibles fossiles d'environ 8% : la plupart des matières plastiques sont fabriquées à partir de ressources non renouvelables, ce qui entraîne une dépendance aux combustibles fossiles.
Polyvalence : les plastiques peuvent être fabriqués dans une large gamme de formes, de tailles et de propriétés, ce qui les rend polyvalents dans de nombreuses applications.	Difficulté de recyclage : certains types de plastiques peuvent être difficiles à recycler efficacement, ce qui conduit à un problème de gestion des déchets plastiques.

Isolation : les plastiques sont d'excellents isolants électriques et thermiques.	Certains plastiques contiennent des additifs potentiellement nocifs, tels que les phtalates et les bisphénols.
Coût : les plastiques sont généralement moins coûteux à produire que d'autres matériaux, ce qui les rend économiquement attractifs.	Fragilité : certains plastiques peuvent être fragiles et se casser facilement sous contrainte avec une résistance à la rupture de 32Mpa.




1.6 Déchets et leur gestion






1.6.1 Déchets

Les déchets sont des substances, matériaux ou produits qui sont considérés comme indésirables, inutiles ou non utilisables et qui sont généralement jetés ou abandonnés. Ils peuvent être solides, liquides ou gazeux, et proviennent d'activités humaines telles que la production, la consommation, la transformation ou l'élimination de biens et de services [7].

Le Tableau 1.3 présente les types de déchets, leur origine ainsi, que quelques illustrations.

Tableau 1.3 Types de déchets, origine et illustrations [8]

Types de déchet	Origine	Illustration
Déchets ménagers	Produits de consommation jetés par les ménages	 Figure 1.1 Déchets ménagers
Déchets industriels	Résidus de processus de fabrication et de production industrielle	 Figure 1.2 Déchets industriels
Déchets électroniques	Appareils électroniques et électriques en fin de vie	 Figure 1.3 Déchets électroniques

Déchets plastiques	Produits en plastique non biodégradables	 Figure 1.4 Déchets plastiques
Déchets organiques	Matières organiques, tels que les restes alimentaires et les déchets de jardin	 Figure 1.5 Déchets organiques
Déchets chimiques	Substances chimiques dangereuses, comme les produits toxiques	 Figure 1.6 Déchets chimiques
Déchets de construction	Matériaux de construction et débris provenant de projets de construction et de démolition	 Figure 1.7 Déchets de construction
Déchets radioactifs	Matériaux contenant des niveaux élevés de radioactivité	 Figure 1.8 Déchets radioactifs

1.6.2 Gestion

Le Tableau 1.4 présente des éléments concernant la gestion des déchets.

Tableau 1.4 Gestion des déchets [8]

Types	Gestion
Déchets ménagers	Collecte sélective, tri, recyclage, compostage, incinération, enfouissement
Déchets industriels	Collecte spécialisée, tri, recyclage, traitement chimique ou physique, incinération contrôlée
Déchets électroniques	Collecte sélective, tri, recyclage spécialisé, désassemblage, récupération de matériaux précieux

Déchets plastiques	Collecte sélective, tri, recyclage plastique, valorisation énergétique, réduction de l'utilisation de plastique
Déchets organiques	Compostage, méthanisation, valorisation énergétiques, traitement anaérobie
Déchets chimiques	Collecte sélective, traitement spécialisé, neutralisation, incinération contrôlée, stockage sécurisé
Déchets de construction	Tri sélectif, recyclage des matériaux, réutilisation, démolition sélective
Déchets radioactifs	Stockage sûr à long terme, traitement spécialisé, confinement, gestion radioactive

1.7 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions générales liées aux matières plastiques dont la définition, les différents types, les procédés d'obtention, les avantages et inconvénients ainsi que la gestion des déchets en général dont les plastiques font partie.

Chapitre 2 ETUDE DE LA PRODUCTION DES TUYAUX EN PEHD PAR LE PROCEDE D'EXTRUSION (Cas de l'entreprise GEP)

2.1 Introduction

Ce chapitre présente le procédé utilisé par l'établissement GEP pour valoriser les déchets plastiques collectés dans la Ville de Goma. Il présente, également, les avantages et inconvénients du procédé d'extrusion ainsi que l'utilisation de ces tuyaux dans le domaine de Génie civil.

2.2 Valorisation des déchets plastiques

La valorisation des déchets plastiques fait référence à l'ensemble des procédés et des techniques visant à récupérer et à transformer les déchets plastiques en produits utiles ou en matières premières réutilisables. Plutôt que d'envoyer les déchets plastiques dans des sites d'enfouissement ou de les incinérer, la valorisation vise à maximiser leur potentiel de récupération et de réutilisation, contribuant ainsi à réduire l'impact environnemental de ces déchets. La valorisation des déchets plastiques mélangés permet d'économiser entre 30 et 80% des émissions de carbone associée au plastique vierge [9].

2.2.1 Valorisation des thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des polymères qui peuvent être ramollis et remodelés plusieurs fois sous l'effet de la chaleur. Ils représentent une part importante des déchets plastiques [10].

Plusieurs méthodes de valorisation des thermoplastiques, parmi lesquelles on peut citer le recyclage mécanique, le recyclage chimique et le recyclage thermique.

2.2.1.1 Le recyclage mécanique

Le recyclage mécanique est une méthode de recyclage qui consiste à récupérer les déchets et à les transformer en granulés ou en paillettes de plastique pour une réutilisation directe dans la fabrication de nouveaux produits en plastiques. Le recyclage mécanique est la méthode la plus couramment utilisée pour valoriser les thermoplastiques. Elle consiste à broyer les déchets plastiques, puis à les laver, les sécher et les fondre pour obtenir des granulés. En 2018, le taux de recyclage mécanique des thermoplastiques était d'environ 25% dans le monde [11].

2.2.1.2 Le recyclage chimique

Le recyclage chimique est un processus qui vise à décomposer les déchets plastiques en produits chimiques de base, tels que des monomères ou des polymères de qualité équivalente à ceux d'origine. Cette méthode offre de nouvelles opportunités pour valoriser les thermoplastiques qui ne peuvent pas être recyclés mécaniquement [12].

Il existe aussi le recyclage thermochimique des composites se fait principalement par la technique de solvolysé. Ce type de procédé permet de casser les liaisons dans les polymères grâce aux solvants pour former des monomères solubles à une température supérieure à 250°C [13].

L'inconvénient majeur de ce procédé est la dégradation importante des propriétés mécaniques de fibres de verre, de l'ordre de 50% à 250°C, ce qui les rend pratiquement inutilisables. De plus, les équipements utilisés sont très chers à cause des conditions sévères de cette technique comme la température et la pression [13].

2.2.1.3 Le recyclage thermique

Le recyclage thermique est une forme de valorisation énergétique des déchets. Dans ce procédé de recyclage, les déchets sont utilisés comme source de chaleur [13].

- ❖ Le recyclage thermique peut se faire selon plusieurs procédés dont l'incinération (réduire en cendres), la thermolyse (décomposition par la chaleur) et la pyrolyse (décomposition par la chaleur mais sans flamme). **L'incinération** permet d'éliminer les déchets de ce type de composite par combustion avec excès d'air, à une température supérieure à 850°C. Une

bonne combustion nécessite un broyage préalable du composite. La valorisation énergétique par incinération d'un kg d'emballages plastiques mélangés émet 1,13 kg de cendre. L'enfouissement d'1 kg d'emballages plastiques mélangés émet 0,13 kg de cendre [14].

- ❖ **La thermolyse** est une rupture d'une ou plusieurs liaisons covalentes, consécutive à l'exposition d'un composé à une élévation de température [13].

Il existe plusieurs types de la thermolyse comme :

- ❖ **La thermolyse à lit fixe** : c'est un procédé de traitement thermique des déchets organiques à une température élevée et en absence d'oxygène. Les déchets sont introduits dans un four hermétique chauffé entre 450°C et 750°C. A l'absence de l'air et sous l'effet de chaleur, les déchets se décomposent en deux phases : gaz et résidu solide.
- ❖ **La thermolyse en bains fondus** : c'est un procédé de thermolyse dont le bain sels fondus est le milieu réactionnel. Il permet d'améliorer le rendement énergétique du recyclage de 10 à 50%.
- ❖ **La thermolyse à lit fluidisé** : c'est un procédé qui permet de traiter des composites à base thermodurcissables renforcés par des fibres de verre quel que soit leur état : pré ou post-consommation. On obtient à la fin de ce procédé du gaz et des fibres. Le gaz dégagé de dégradation de la fraction organique de la résine est mis dans une chambre de combustion secondaire à environ 1000°C pour produire un gaz de combustion propre (pour la récupération d'énergie) [13].
- ❖ **La pyrolyse**

C'est la décomposition sans flamme d'un corps organique par la chaleur pour obtenir d'autres produits qu'il ne contenait pas. Cette technique peut se réaliser en absence ou en présence d'oxygène et plus récemment en présence de vapeur [13].

2.2.2 Valorisation des thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des polymères qui durcissent de manière irréversible lorsqu'ils sont chauffés, formant ainsi une structure tridimensionnelle rigide. Contrairement aux thermoplastiques, les thermodurcissables ne peuvent pas être ramollis à nouveau une fois durcis [15].

2.2.2.1 Valorisation énergétique

La valorisation énergétique est également appelée incinération avec récupération d'énergie. Dans ce processus, les déchets sont brûlés à des températures élevées pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Cette méthode permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans les déchets, réduisant ainsi la quantité de déchets à éliminer et contribuant à la production d'énergie renouvelable [16]. Environ 37% des déchets plastiques sont valorisés énergétiquement chaque année dans le monde [17].

2.2.2.2 Le recyclage chimique avancé

Le recyclage chimique avancé est une technique de traitement des déchets plastiques qui consiste à décomposer les polymères en molécules de base, appelées monomères, pour les réutiliser dans la production de nouveaux plastiques ou d'autres produits chimiques. Cette approche innovante présente plusieurs avantages, notamment la possibilité de recycler une plus grande variété de plastiques [18].

2.2.3 Valorisation des élastomères

Les élastomères sont des polymères présentant des propriétés élastiques, c'est-à-dire qu'ils peuvent se déformer sous l'effet d'une contrainte mécanique et retrouver leur forme initiale une fois la contrainte supprimée [19].

2.2.3.1 Le broyage et la réutilisation

Le broyage est une opération mécanique qui consiste à réduire la taille des matériaux en les passant à travers un broyeur ou un équipement similaire et la réutilisation est le processus de réutilisation d'un produit, d'un matériau ou d'une partie d'un produit après qu'il a été utilisé.

Lorsque les élastomères sont sous forme solide, ils peuvent être broyés en petits morceaux et réutilisés dans la fabrication de nouveaux produits en caoutchouc. Cette méthode est couramment utilisée dans l'industrie du pneumatique pour valoriser les pneus usagés [20].

2.2.3.2 Le recyclage des pneus

Le recyclage des pneus consiste à récupérer les pneus usagés afin de les transformer en nouveaux produits ou matières premières [21]. Ce recyclage peut inclure le broyage des pneus pour produire des granulés de caoutchouc réutilisables, la fabrication de revêtements de sol en caoutchouc recyclé ou même l'utilisation du caoutchouc dans la production d'asphalte [22].

2.3 Avantages et inconvénients de la valorisation des déchets plastiques

Le Tableau 2.1 présente les avantages et les inconvénients de la valorisation des déchets plastiques

Tableau 2.1 Avantages et inconvénients de la valorisation des déchets plastiques [9]

Avantages	Inconvénients
Réduction de la quantité de déchets plastiques envoyés en décharge ou en incinération qui atteint 89% pour une tonne de plastique recyclé	Emissions de polluants atmosphériques pendant le processus de valorisation énergétique dont la valeur varie en fonction des années, comme en 2018 par exemple ça s'élevait à 208 millions de tonnes d'équivalent de CO ₂

Conservation des ressources naturelles en utilisant des déchets plastiques comme matière première	Nécessite des installations de traitement spécifiques et coûteuses
Réduction de la consommation d'énergie de 2 400 millions GJ d'énergie/an par rapport à la production de plastiques vierges	Possibilité de contamination des flux de recyclage par des plastiques non recyclables ou contaminés
Réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce à la substitution de matières premières vierges d'environ 70 000 à 150 000 kJ/kg de plastique valorisé et 1 à 3 kgCO ₂ /kg de plastique valorisé	Dépendance à la disponibilité de flux de déchets plastiques de qualité suffisante
Création de nouvelles opportunités économiques et d'emplois dans le secteur du recyclage	Baisse de la qualité des plastiques recyclés par rapport aux plastiques vierges

2.4 Valorisation des déchets plastiques en République Démocratique du Congo

Dans notre pays, la gestion des déchets plastiques est un enjeu majeur en raison de l'augmentation de la production de plastiques et de la faible capacité de traitement des déchets dans le pays. Les déchets sont omniprésents dans l'environnement urbain et rural, causant des problèmes de pollution des sols, des cours d'eau et des écosystèmes.

La valorisation des déchets plastiques dans le pays est encore peu développée, mais des initiatives commencent à émerger pour promouvoir le recyclage et la réutilisation des plastiques. Plusieurs acteurs, tels que des ONG, des entreprises privées et des institutions publiques, tentent de

sensibiliser la population à l'importance du tri des déchets et du recyclage, ainsi qu'à l'impact néfaste de la pollution plastique sur l'environnement et la santé publique [23].

Comme exemple de valorisation des déchets plastiques en RDC, nous pouvons parler de la fabrication des pavés en mélangeant les déchets plastiques bruts avec les granulés thermoplastiques et du sable fin. Certains chercheurs, après leurs études ils sont arrivés à conclure que les granulés thermoplastiques incorporés dans les pavés lors de la fabrication est d'une importance capitale car non seulement c'est une façon de réduire la quantité des déchets plastiques qui peuvent polluer l'environnement mais aussi c'est un plus dans le domaine de la construction car non seulement on obtient un matériau écologique avec un temps de production réduit et ayant une résistance aux déformations élevée par rapport aux pavés qui ne contiennent pas de granulés thermoplastiques [24]. N'oublions pas de noter que les résultats obtenus dépendent d'une manière ou d'une autre du dosage qu'on fait lors de la fabrication et cela peut dépendre d'une entreprise à une autre.

2.5 Valorisation des déchets plastiques dans la ville de Goma

La ville de Goma est située à l'Est de la République Démocratique du Congo avec comme coordonnées géographiques :

- ❖ **Latitude** : $-1,6771^{\circ}$
- ❖ **Longitude** : $29,2211^{\circ}$

Le climat de Goma est du type équatorial, caractérisé par des températures élevées et une humidité élevée tout au long de l'année.

Les activités principales de la ville de Goma comprennent :

- ❖ Activités économiques
- ❖ Secteur touristique
- ❖ Secteur humanitaire [23].

Les plastiques consommés à Goma peuvent provenir de différentes sources. Certains plastiques peuvent être produits localement dans des usines ou des ateliers de fabrication de produits en

plastique. D'autres peuvent être importés de l'étranger, notamment de pays voisins ou de régions plus éloignés.

La ville de Goma, comme presque toutes les grandes villes du pays, est confrontée à des défis majeurs en matière de gestion des déchets plastiques. En raison de la croissance démographique rapide et de l'urbanisation accélérée, la production de déchets plastiques a considérablement augmenté ces dernières années, entraînant une pollution importante de l'environnement. Cependant plusieurs initiatives locales sont en cours pour promouvoir la valorisation des déchets plastiques. De ces initiatives, nous donnons l'exemple de :

- ❖ Recyclage RDC : l'ONG congolaise Recyclage RDC travaille sur la collecte, le tri et le recyclage des déchets plastiques à Goma.
- ❖ Goma Green City : Goma Green City est une initiative lancée par la société civile locale pour promouvoir le développement durable dans la ville, y compris la gestion des déchets.
- ❖ Entreprises locales de recyclage : il existe également des petites entreprises locales de recyclage des déchets plastiques à Goma, et en guise d'exemple nous citons l'entreprise GEP [23].

2.6 Etablissement Goma Extrusion Plastique (GEP)

L'entreprise GEP est un établissement qui œuvre dans la production des tuyaux en polyéthylène haute densité à partir des déchets plastiques (bidons plastiques, seaux plastiques, chaises plastiques, etc.). Ceci constitue une très bonne initiative pour valoriser les déchets plastiques et a un double effet positif dans la société par la lutte contre le chômage ainsi que la préservation des écosystèmes (environnement).

Pour y arriver, plusieurs étapes sont nécessaires dont notamment : l'acquisition des matières plastiques, le découpage, le broyage, le tamisage & triage et la production proprement dite des tuyaux en utilisant la technique dite d'extrusion.

Au regard de notre formation, nous allons aborder également les notions liées à l'utilisation des tuyaux tout en présentant quelques avantages et inconvénients qui en découlent.

2.6.1 Présentation de l'établissement

2.6.1.1 Situation géographique

1. **Adresse physique** : Commune de Goma, Quartier Katindo, Avenue du Lac n°240

Délimitation :

- ❖ **Au Nord** : Institut ZANNER
- ❖ **Au Sud** : SAFRICAS
- ❖ **A l'Est** : Université de Goma
- ❖ **A l'Ouest** : KIVU MOTOR

2. **Coordonnées GPS** :

- ❖ **Latitude** : -1,6772434°
- ❖ **Longitude** : 29,2196467°

2.6.1.2 Historique

L'établissement GEP fut fondé par Monsieur **Mike MAKENGELE**, ancien Directeur de l'établissement **ALPHA SHOES**. Après fermeture de ce dernier, Monsieur **MAKENGELE** s'était décidé de créer sa propre entreprise de fabrication de tuyaux en PEHD qui fut mise en marche le 24 avril 2011 dans la ville de Goma.

Objectifs

- ❖ Produire et commercialiser les tuyaux en PEHD ;
- ❖ Réduire la pollution de l'environnement par les déchets plastiques en favorisant leur recyclage pour la réutilisation.

2.6.1.3 Moyens financiers

GEP est un établissement privé, dont le capital initial est constitué des fonds propres de monsieur **MAKENGELE**. Aujourd'hui l'entreprise vit grâce au fonds provenant de la commercialisation des tuyaux qu'elle produit.

2.6.2 Procédés de production des tuyaux en PEHD

Pour arriver à produire les tuyaux en PEHD, les étapes suivantes sont nécessaires :

- ❖ L'achat de la MP sur terrain,
- ❖ Le découpage de la MP,
- ❖ Le lavage,
- ❖ Le séchage,
- ❖ Le broyage,
- ❖ Le tamisage,
- ❖ L'ajout colorant,
- ❖ L'extrusion.

Comme MP, l'établissement GEP utilise les bidons, les tanks, les bouteilles des produits cosmétiques, les bassins, les seaux de peinture, les chaises et les parechocs des voitures. On note que toutes les matières premières utilisées sont en plastiques.

2.6.2.1 Acquisition de la matière première

GEP possède une équipe chargée de la récolte(acquisition) de la matière première pour avoir au moins une matière première suffisante pour une bonne production des tuyaux.

L'idéal pour l'entreprise est de récolter au moins 400kg par jour.

La figure 2.1 présente les différents types de matières premières utilisées dans la production des tuyaux.



Figure 2.1 Matières premières

2.6.2.2 Découpage de la matière première

On découpe la matière acquise pour faciliter le broyage. Pour cela, l'équipe chargée du découpage utilise des machettes.

Pour chaque tour de production, l'équipe découpe au moins 300kg de MP.

Après le découpage, la MP est lavée puis séchée pour enlever une éventuelle poussière ou boue qui peut s'y être collée lors des différentes manœuvres.

La figure 2.2 présente les matières premières déjà découpées



Figure 2.2 Matières premières découpées

2.6.2.3 Broyage de la matière première

Ensuite la MP est broyée pour réduire sa granulométrie mais aussi pour faciliter son mélange avec le colorant.

- ❖ **Type de broyeur utilisé** : Broyeur à rotor (Diamètre rotor 700mm)
- ❖ **Dimension de la chambre de broyage** : 400*700(mm*mm)
- ❖ **Puissance moteur** : 15 kW
- ❖ **Vitesse de rotation** : 1450 tr/min
- ❖ **Capacité du broyeur** : 1000kg de matière première par jour

Les figures 2.3 et 2.4 présentent le broyeur et la MP déjà broyée.



Figure 2.3 Broyeur



Figure 2.4 MP broyée

2.6.2.4 Triage et tamisage

Le tamisage et le triage sont faits au moyen d'un tamis pour débarrasser la MP broyée des impuretés avant qu'on ne la mette dans l'entonnoir pour commencer le processus d'extrusion.

- ❖ **Type de tamis utilisé :** Tamis traditionnel
- ❖ **Capacité du tamis :** 300kg de MP par jour.

Après avoir tamisé et trié on passe à l'étape où on doit mélanger la MP avec le colorant juste avant de passer à la production proprement dite. Le colorant est une substance qu'on mélange avec la matière première pour produire des tuyaux ayant la couleur du colorant y incorporé. Par exemple si on veut produire des tuyaux ayant la couleur noire, on mélange la matière première avec le colorant de couleur noir.

On précise que le dosage du colorant par unité de masse traité reste un secret professionnel de l'entreprise.

Les figures 2.5, 2.6 et 2.7 présentent le tamis, le colorant ainsi que la matière première tamisée.



Figure 2.5 Tamis



Figure 2.6 Colorant



Figure 2.7 MP tamisée

2.6.2.5 Traçabilité des matières premières recyclées utilisées

La traçabilité des matières premières extrudées utilisées dans la fabrication des tuyaux en PEHD est généralement assurée par plusieurs moyens qui sont :

- ❖ **Identification des fournisseurs** : les fabricants de tuyaux en PEHD doivent s'assurer que leurs fournisseurs de matières premières recyclées sont fiables et respectent les normes de qualité et de sécurité.
Pour notre cas, l'établissement GEP prend n'importe quel fournisseur (pas de fournisseur fixe).
- ❖ **Suivi des flux de matières premières** : les fabricants peuvent mettre en place des systèmes de suivi des flux des matières premières tout au long de la chaîne d'approvisionnement, de la collecte des bidons, seaux, tanks plastiques, afin de garantir la provenance et la qualité des matériaux.
Pour notre cas, l'établissement GEP ne regorge pas en son sein de systèmes de suivi des flux des matières premières.
- ❖ **Certification et labels** : certains fournisseurs de matières premières recyclées peuvent être certifiés par des organismes indépendants ou labellisés pour garantir la qualité et l'origine des matériaux. Les fabricants de tuyaux en PEHD peuvent exiger ces certifications pour assurer la traçabilité des matières premières.
Pour notre cas, l'établissement GEP est en pleine négociation pour obtenir une certification et labels.
- ❖ **Contrôles qualité et audits** : les fabricants peuvent réaliser des contrôles qualité réguliers sur les matières premières extrudées utilisées dans la fabrication des tuyaux, ainsi que des audits auprès de leurs fournisseurs pour s'assurer du respect des normes et de la traçabilité.
Pour notre cas, l'établissement GEP n'effectue pas de contrôle qualité et audits.
- ❖ **Gestion documentaire** : une documentation précise et détaillée sur l'origine, le traitement et la transformation des matières premières peut être établie et conservée par les fabricants pour assurer la traçabilité des matériaux [25].

Pour notre cas, l'établissement GEP possède une fiche entrée déchets plastiques, fiche matière broyée et une fiche matière utilisée.

Soulignons que les pratiques de traçabilité peuvent varier en fonction des entreprises et de secteurs d'activité. Pour obtenir des informations spécifiques sur la traçabilité des matières premières extrudées utilisées dans la fabrication des tuyaux en PEHD, il est recommandé de se référer à des études académiques, des rapports sectoriels ou des publications spécialisées dans le domaine de la gestion de la chaîne d'approvisionnement et du développement durable [26].

2.6.2.6 Extrusion

Le procédé d'extrusion est une technique de transformation des plastiques qui consiste à faire fondre une matière plastique pour la transformer en une forme continue, généralement sous la forme d'un film, une feuille, d'un profilé ou d'un tube. Ce processus se déroule dans une machine appelée extrudeuse, qui fait fondre le plastique à haute température avant de le pousser à travers une filière pour lui donner sa forme finale [27].

La matière est ensuite refroidie et figée dans sa forme définitive, soit dans l'air soit dans l'eau, soit encore sur des cylindres refroidis.

A la sortie de l'extrudeuse, il est nécessaire de conditionner, découper ou enrouler le tuyau (profilé) selon les prescriptions définies soit par le client soit par l'entreprise elle-même.

Souvent, la souplesse de certaines matières premières, conjuguées avec une tension d'enroulement inévitable, provoque un allongement du tuyau (profilé) d'où la surestimation de la longueur réellement conditionnée [27].

Le procédé d'extrusion est largement utilisé dans l'industrie plastique pour la fabrication de divers produits tels des films d'emballage, des tuyaux, des profilés pour fenêtres et portes, des câbles électriques, etc. [27]

Voici les caractéristiques de l'extrudeuse utilisée par l'entreprise GEP :

❖ **Puissance : 15kW**

- ❖ **Tension : 380V**
- ❖ **Vitesse de rotation du moteur : 1 450tr/min**

Vu que pour chaque tour de production GEP utilise au moins 300kg de MP or la production se fait deux fois par jour, ceci implique que la quantité de la MP utilisée est de 600kg par jour.

Les tuyaux produits par GEP sont généralement de 6m de longueur et dans des cas très particuliers, on peut également produire des tuyaux de 4m de longueur. Pour ce qui est du diamètre des tuyaux, GEP produit ceux de 16 et 20mm.

A cause des problèmes techniques tout en y associant le phénomène de délestage au courant de la journée, l'entreprise enregistre une perte de 37,6% sur la MP produite au courant de la journée contre 2% sur celle produite durant la nuit. Et comme généralement GEP produit au moins 350 tuyaux la journée et au moins 550 tuyaux durant la nuit, on aura :

- ❖ $300kg * (1 - 0,376) = 187,2kg$

D'où 350 tuyaux représentent une masse de 187,2kg réellement produits au courant de la journée.

- ❖ $300 * (1 - 0,02) = 294kg$

D'où 550 tuyaux représentent une masse de 294kg réellement produits au courant de la nuit.

Donc pour un jour on a une production d'au moins 990 tuyaux qui représentent une masse de :
 $187,2 + 294 = 481,2kg$

2.6.3 Défis et obstacles rencontrés dans le processus d'extrusion des bidons, seaux, chaises plastiques

Le processus d'extrusion de bidons, seaux, chaises plastiques peut rencontrer plusieurs défis et obstacles, notamment :

- ❖ **Le contrôle de la température** : maintenir une température constante et adéquate tout au long du processus d'extrusion est crucial pour obtenir des produits de haute qualité ;

- ❖ **Le contrôle de la pression** : la pression dans la machine d'extrusion doit être contrôlée avec précision pour assurer une distribution uniforme du matériau fondu ;
- ❖ **Contrôle de la vitesse d'extrusion** : la vitesse à laquelle le matériau est extrudé peut influencer la qualité du produit final, il est donc important de contrôler cette vitesse avec précision ;
- ❖ **Le contrôle de la qualité du matériau** : assurer la qualité du PEHD utilisé dans le processus est essentiel pour éviter les défauts dans les produits finis ;
- ❖ **La maintenance de l'équipement** : comme pour tout processus industriel, la maintenance régulière de l'équipement d'extrusion est essentielle pour assurer un fonctionnement optimal et éviter les arrêts de production [28].

L'ingéniosité du responsable technique et du carnet d'adresse technique ainsi que la maintenance (utilisation des pièces locales), permettent à l'entreprise GEP de faire face à ces différents défis et obstacles.

Au regard de notre constat, nous conseillons à l'entreprise de se servir des atouts technologiques actuels pour éviter ces désagréments rencontrés lors de la production des tuyaux en PEHD. Elle peut, par exemple, se doter d'un système informatique qui permet de gérer automatiquement tous ces paramètres de contrôle du procédé (automatisation d'une partie du procédé de production). Ceci aura un effet bénéfique sur le rendement de production.

2.6.4 Utilisation des tuyaux en polyéthylène haute densité en génie civil

Les tuyaux en polyéthylène haute densité ont une large gamme d'utilisation en génie civil notamment dans la construction des chaussées, dans la confection du béton, ...

Parlant de son utilisation dans les chaussées, le PEHD recyclé peut être incorporé à une proportion de 5% à 20% dans les revêtements de chaussées en asphalte ou en béton pour améliorer leurs propriétés mécaniques telle que la flexibilité et réduire leur empreinte carbone d'environ 30%. Il peut être utilisé comme agent de renforcement ou de remplissage pour augmenter la résistance à la traction, réduire la fissuration et prolonger la durée de vie des chaussées.

Dans la confection de béton, le PEHD recyclé peut également être ajouté au béton avec proportion de 5% à 20% comme agrégat ou additif pour améliorer ses performances.

De ses performances, nous avons :

- ❖ **La résistance à la fissuration** due au retrait et à la contraction qui s'améliore de 20 à 50% par rapport au béton qui ne contient pas de PEHD recyclé.

- ❖ **Les résistances mécaniques** : bien que l'ajout du PEHD recyclé puisse légèrement réduire la résistance mécanique initiale du béton, il peut améliorer la ténacité et la résistance aux chocs du matériau. Cela peut rendre le béton plus résistants aux charges dynamiques et aux contraintes induites du sol.

- ❖ **La réduction de la perméabilité du béton**, limitant ainsi la pénétration de l'eau et des agents agressifs dans la structure.

Le recyclage des déchets des tuyaux en PEHD pour les utiliser dans la construction des chaussées ou la confection du béton est une pratique durable qui contribue à la réduction des déchets plastiques et à l'amélioration des performances des infrastructures routières et des structures en bétons [29].

Outre les applications citées ci-haut, parlons des utilisations des tuyaux en PEHD dans les différents domaines que comporte le génie civil. Les domaines qui nous ont intéressés sont : structure et ouvrage d'art, hydraulique et construction hydraulique, transport et voies de communication ainsi que ponts et chaussées.

2.6.4.1 En structure et ouvrage d'art

En structure et ouvrage d'art, les tuyaux en polyéthylène haute densité interviennent dans :

- ❖ **Le drainage des ouvrages d'art** : les tuyaux en PEHD sont couramment utilisés pour assurer le drainage des ouvrages d'art tels que les tunnels, passages souterrains, etc. Ils

permettent d'évacuer efficacement l'eau et les eaux pluviales tout en résistant à la corrosion et en offrant une longue durée de vie.

- ❖ **Les conduites forcées** : les tuyaux en PEHD sont largement utilisés comme conduites forcées dans des canaux, etc. Leur légèreté, leur flexibilité et leur résistance à la corrosion en font un choix idéal pour transporter les liquides ou fluides sous pression.
- ❖ **Les systèmes de protection cathodique** : le PEHD est parfois utilisé pour fabriquer des gaines de protection cathodique pour les structures métalliques enterrées ou immergées. Ces gaines protègent les structures métalliques de la corrosion en créant une barrière imperméable aux agents corrosifs [30].

2.6.4.2 En hydraulique et constructions hydrauliques

Nous citons :

- ❖ **Les réseaux d'adduction d'eau** : les tuyaux en PEHD sont couramment utilisés pour les réseaux d'adduction d'eau potable en raison de leur résistance à la corrosion, de leur légèreté, de leur flexibilité et de leur durabilité. Ils permettent un transport efficace de l'eau potable sans altération de sa qualité.
- ❖ **Les réseaux d'assainissement** : les tuyaux en PEHD sont également utilisés pour les réseaux d'assainissement pour évacuer les eaux usées et pluviales. Leur résistance à la corrosion et aux produits chimiques en fait un choix idéal pour ce type d'application.
- ❖ **L'irrigation** : les tuyaux en PEHD sont utilisés pour transporter l'eau vers les cultures. Leur flexibilité permet de les installer facilement sur de longues distances, et leur résistance aux UV et aux produits chimiques assure une longue durée de vie.
- ❖ **Les canalisations hydrauliques** : les tuyaux en PEHD sont également utilisés pour les canalisations hydrauliques dans les installations industrielles, les centrales électriques, les usines de traitement des eaux, etc. Leur résistance à la pression, aux chocs et à la corrosion en font un matériau adapté pour transporter différents fluides [31].

2.6.4.3 En transport et voies de communication

Les tuyaux en PEHD trouvent leur usage dans :

- ❖ **Les réseaux de distribution de gaz naturel** : les tuyaux en PEHD sont largement utilisés pour les réseaux de distribution de gaz naturel en raison de leur résistance à la corrosion, à la pression et aux chocs. Ils permettent un transport sûr et efficace du gaz naturel vers les utilisateurs finaux.
- ❖ **Les réseaux de télécommunications** : les tuyaux en PEHD sont également utilisés pour protéger les câbles de télécommunications enterrés. Leur résistance à l'humidité, aux produits chimiques et aux dommages mécaniques en fait un choix idéal pour assurer la protection des câbles et garantir une transmission fiable des données.
- ❖ **Les réseaux de chauffage urbain** : les tuyaux en PEHD sont utilisés pour transporter l'eau chaude vers les bâtiments connectés au réseau de chauffage central. Leur résistance à la chaleur, à la pression et à la corrosion en fait un matériau adapté pour ce type d'application.
- ❖ **Les réseaux d'irrigation souterraine** : les tuyaux en PEHD sont également utilisés pour les réseaux d'irrigation souterraine dans l'agriculture pour apporter l'eau aux cultures de manière efficace et économique. Leur flexibilité et leur durabilité permettent une installation facile et une longue durée de vie [31].

2.6.4.4 En ponts et chaussées

Pour ce cas-ci, nous avons :

- ❖ **Le drainage des chaussées** : les tuyaux en PEHD sont souvent utilisés pour le drainage des chaussées afin d'évacuer efficacement l'eau de pluie et ainsi prévenir les problèmes d'infiltration et d'accumulation d'eau qui pourraient endommager la chaussée. Leur résistance à la corrosion, aux produits chimiques et aux chocs en fait un choix idéal pour cette application.
- ❖ **La protection des câbles et conduites souterrains** : dans le cadre de la construction de ponts et chaussées, les tuyaux en PEHD sont utilisés pour protéger les câbles électriques, les conduites d'eau, de gaz ou de chauffage qui sont enterrés sous la chaussée ou le pont.

Leur résistance aux dommages mécaniques et à la corrosion assure la protection des infrastructures souterraines [31].

2.6.5 Avantages et inconvénients de l'utilisation des tuyaux en PEHD en Génie civil

Les tuyaux en PEHD sont largement utilisés en génie civil pour diverses applications en raison de leurs caractéristiques techniques et leurs avantages.

2.6.5.1 Avantages

Pour ce qui est des avantages, nous pouvons citer :

- ❖ **La résistance chimique** : le PEHD est résistant à des nombreux produits chimiques, ce qui le rend adapté pour le transport de divers fluides ;
- ❖ **La résistance à la corrosion** : ils sont résistants à la corrosion, ce qui les rend durables et adaptés pour une utilisation dans des environnements agressifs ;
- ❖ **La légèreté** : le PEHD est un matériau léger, ce qui facilite le transport la manutention et l'installation des tuyaux ;
- ❖ **La flexibilité** : ils sont flexibles, ce qui permet de les installer plus facilement dans des zones difficiles d'accès ou présentant des contraintes géométriques ;
- ❖ **La durabilité** : le PEHD est un matériau durable évalué à l'échelle D (65) et résistant à l'usure, offrant une longue durée de vie aux installations [31].

2.6.5.2 Inconvénients

Parmi leurs inconvénients, nous pouvons citer :

- ❖ **La sensibilité aux températures élevées** : le PEHD peut se déformer à des températures élevées avec une température de fusion de 133 à 135°C, limitant son utilisation dans des applications nécessitant une résistance thermique élevée ;
- ❖ **La sensibilité aux UV** : le PEHD peut être sensible aux rayons UV, ce qui peut entraîner une dégradation du matériau s'il est exposé à la lumière du soleil pendant de longues périodes ;

- ❖ **Le cout initial** : les tuyaux en PEHD peuvent avoir un cout initial plus élevé que d'autres matériaux, bien que cela puisse être compensé par durabilité et leur faible cout d'entretien à long terme ;
- ❖ **La dilatation thermique** : le PEHD a une dilatation thermique plus importante que d'autres matériaux avec un coefficient de dilatation thermique linéaire de 150 à $230 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, et qui peut nécessiter des joints d'expansion pour compenser les variations de température.

Notons qu'il est important de prendre en compte les inconvénients potentiels liés à ce matériau pour choisir la solution la plus adaptée à chaque application spécifique [31].

2.7 Conclusion partielle

Dans ce chapitre nous avons présenté les méthodes de valorisation des déchets plastiques en général ainsi que du procédé utilisé par l'établissement GEP pour valoriser les déchets plastiques collectés dans la Ville de Goma en particulier. Ce chapitre présente, également, l'utilisation de ces tuyaux dans le domaine de Génie civil avec ces avantages et inconvénients.

Chapitre 3 PISTES DES SOLUTIONS LIEES A LA VALORISATION DES DECHETS PLASTIQUES

3.1 Introduction

Pour trouver une quelconque solution, il faut avoir un problème à la base. C'est pour cette raison qu'avant de parler de solutions que nous pouvons proposer, nous allons d'abord parler des éventuels problèmes que peuvent engendrer les déchets plastiques.

3.2 Problèmes emmenant des déchets plastiques

Les problèmes emmenant de l'abondance des déchets plastiques sont nombreux et variés, et ont des impacts dévastateurs sur l'environnement, la biodiversité, etc. Dans le contexte général, nous pouvons citer : la pollution des océans, les microplastiques, la dégradation des sols et les coûts économiques.

1. **La pollution des océans** : chaque année, des millions de tonnes de plastique se retrouvent dans les océans, causant la mort de milliers d'animaux marins qui ingèrent ou s'emmêlent dans ces déchets.
2. **Les microplastiques** : les plastiques se décomposent en de minuscules particules appelées microplastiques, qui contaminent les écosystèmes terrestres et aquatiques, et peuvent être intégrées par les organismes vivants, y compris les humains.
3. **La dégradation des sols** : l'accumulation de déchets plastiques dans les sols peut entraîner une diminution de la fertilité des terres agricoles et une contamination des nappes phréatiques.
4. **Les coûts économiques** : la gestion des déchets plastiques représente un coût important pour les gouvernements et les entreprises, en termes de collecte, traitement et élimination des déchets [32].

En Génie civil, nous pouvons citer : la pollution de l'environnement, l'obstruction des réseaux d'assainissement, le problème de gestion des déchets et l'altération des ouvrages d'infrastructures [32].

3.2.1 Pollution de l'environnement

Les déchets plastiques sont l'une des principales sources de pollution de l'environnement. Lorsqu'ils ne sont pas correctement gérés, ces déchets peuvent se retrouver dans les sols, les cours d'eau, les océans et les écosystèmes terrestres causant ainsi des dommages considérables. Les plastiques mettent des centaines d'années à se décomposer, ce qui signifie qu'ils restent longtemps dans l'environnement, libérant des substances toxiques et perturbant les écosystèmes.

Les microplastiques, issus de la fragmentation des déchets plastiques plus grands, sont particulièrement préoccupants. Ils sont ingérés par de nombreux organismes marins et terrestres, entraînant des effets néfastes sur leur santé et sur la chaîne alimentaire. De plus, les plastiques peuvent absorber des polluants chimiques et les transporter sur de longues distances, contribuant ainsi à la dispersion de substances toxiques dans l'environnement [32].

3.2.2 Obstruction des réseaux d'assainissement

Les déchets plastiques peuvent également causer des obstructions dans les réseaux d'assainissement. Lorsque ces déchets sont jetés dans les égouts ou les canalisations, ils peuvent s'accumuler et former des bouchons, entraînant des problèmes d'écoulement et d'assainissement. Ces obstructions peuvent provoquer des inondations, des débordements d'eaux usées et des dysfonctionnements des systèmes d'assainissement, ce qui peut avoir des conséquences graves pour la santé publique et l'environnement.

Les déchets plastiques peuvent également endommager les équipements de traitement des eaux usées en obstruant les filtres et en perturbant les processus de traitement. Cela peut entraîner une diminution de l'efficacité des installations d'assainissement et augmenter les coûts de maintenance et de réparation [32].

3.2.3 Problème de gestion des déchets

Les déchets plastiques posent également des problèmes en termes de gestion des déchets. En raison de leur durabilité et de leur faible taux de décomposition, les plastiques s'accumulent rapidement dans l'environnement et nécessitent une gestion efficace pour éviter leur dispersion et leur impact négatif sur la santé humaine et environnementale.

La gestion inadéquate des déchets plastiques peut entraîner des problèmes tels que la contamination des sols et des eaux, la prolifération de maladies liées aux déchets, la destruction des habitats naturels et la réduction de la biodiversité. De plus, le coût financier de la collecte, du tri et du traitement des déchets plastiques est souvent élevé, ce qui peut poser des défis pour de nombreux pays et communautés [32].

3.2.4 Altération des ouvrages d'infrastructures

Lorsque les déchets s'accumulent autour des structures, les plastiques peuvent obstruer les systèmes de drainage et favoriser la rétention d'eau, ce qui peut entraîner des problèmes d'infiltration, d'érosion et de corrosion. De plus, les déchets plastiques peuvent attirer d'autres déchets et débris, augmentant ainsi le risque d'obstruction des canalisations et des systèmes d'assainissement situés à proximité des ouvrages d'infrastructures. Ces obstructions peuvent compromettre la stabilité et la durabilité des structures, nécessitant des opérations de nettoyage et de maintenance régulières pour prévenir tout dommage structurel [32].

3.3 Pistes des solutions

Comme pour les problèmes, nous allons parler des pistes de solutions en général et des pistes de solutions pour des problèmes qu'on retrouve en Génie civil à cause des déchets plastiques.

Pour des cas généraux, il en existe plusieurs, parmi lesquelles nous pouvons citer : la réduction à la source, le recyclage et la valorisation, la sensibilisation et l'éducation, l'interdiction des plastiques à usage unique, le développement des plastiques, le nettoyage des déchets plastiques, encourager l'écoconception, la responsabilisation des producteurs, renforcer les réglementations,

encourager l'innovation, la collaboration internationale, promouvoir l'économie circulaire, soutenir les initiatives locales et impliquer les entreprises [33].

3.3.1 Réduction à la source

La réduction à la source consiste à limiter la quantité de plastique produite dès sa conception, en favorisant par exemple des emballages réutilisables ou en encourageant les alternatives durables. Cette approche vise à minimiser la génération de déchets plastiques à la base, ce qui crucial pour lutter contre la pollution plastique. Des études montrent que la réduction à la source est l'une des stratégies les plus efficaces pour résoudre le problème des déchets plastiques. En favorisant la durabilité et en repensant nos modes de consommation, nous pouvons réduire significativement notre empreinte plastique sur l'environnement [33].

3.3.2 Recyclage et valorisation

Le recyclage et la valorisation des déchets plastiques permettent de donner une seconde vie aux matériaux et de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge. En transformant les plastiques usagés en matières premières recyclées, nous contribuons à préserver les ressources naturelles et à réduire l'impact environnemental de la production de plastique vierge. Des études montrent que le recyclage des plastiques peut contribuer de manière significative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En investissant dans des infrastructures de recyclage efficaces et en sensibilisant la population à l'importance du tri sélectif, nous pouvons valoriser les déchets plastiques et en faire des ressources précieuses [33].

3.3.3 Sensibilisation et éducation

La sensibilisation et l'éducation du public sur les enjeux liés aux déchets plastiques sont essentielles pour encourager des comportements responsables et durables. En informant les citoyens sur les conséquences de la pollution plastique sur l'environnement et la santé, nous pouvons favoriser une prise de conscience collective et inciter à adopter des gestes éco-responsables au quotidien. Des campagnes de sensibilisation efficaces ont montré leur impact positif sur le changement de comportement des individus vis-à-vis de la gestion des déchets

plastiques. En investissant dans l'éducation environnementale et en promouvant des initiatives de sensibilisation, nous pouvons contribuer à réduire la pollution plastique à long terme [33].

3.3.4 Interdiction des plastiques à usage unique

L'interdiction des plastiques à usage unique, tels que les sacs plastiques ou les pailles, est une mesure forte pour limiter la production de déchets plastiques et encourager l'adoption d'alternatives durables. En réglementant l'utilisation des plastiques jetables, les gouvernements peuvent inciter les industries à développer des solutions plus respectueuses de l'environnement et favoriser une transition vers une économie circulaire. Des études montrent que les interdictions des plastiques à usage unique ont un impact significatif sur la réduction des déchets plastiques dans les océans. En adoptant des politiques ambitieuses d'interdiction, nous pouvons contribuer à préserver les écosystèmes marins et terrestres de la pollution plastique [33].

3.3.5 Développement de plastiques biodégradables

Les plastiques biodégradables sont conçus pour se décomposer plus rapidement dans l'environnement, réduisant ainsi leur impact sur les écosystèmes. En favorisant le développement de plastiques issus de sources renouvelables et facilement biodégradables, nous pouvons limiter la persistance des déchets plastiques dans la nature. Des recherches récentes ont montré que les plastiques biodégradables peuvent constituer une alternative prometteuse aux plastiques conventionnels. En encourageant l'innovation dans le domaine des bioplastiques et en promouvant leur utilisation responsable, nous pouvons contribuer à réduire la pollution plastique tout en préservant les ressources naturelles [33].

3.3.6 Nettoyage des déchets plastiques

Le nettoyage des déchets plastiques déjà présents dans l'environnement est une mesure importante pour prévenir leur propagation et limiter leur impact sur la faune et la flore. En organisant des opérations de ramassage des déchets plastiques sur les plages, dans les rivières ou en mer, nous pouvons contribuer à restaurer les écosystèmes fragilisés par la pollution. Des initiatives de nettoyage réussies ont montré leur efficacité pour réduire la quantité de déchets plastiques dans

les milieux naturels. En mobilisant les communautés locales, les ONG et les autorités publiques, nous pouvons agir concrètement pour protéger l'environnement des effets néfastes de la pollution plastique [33].

3.3.7 Encourager l'écoconception

L'écoconception consiste intégrer dès la conception des produits des critères environnementaux visant à réduire leur impact tout au long de leur cycle de vie, y compris en termes de gestion des déchets. En favorisant la conception de produits durables, faciles à recycler ou à valoriser en fin de vie, nous pouvons minimiser la production des déchets plastiques et encourager une économie circulaire. Des études montrent que l'écoconception peut contribuer à réduire significativement l'empreinte environnementale des produits en favorisant leur recyclabilité. En promouvant l'écoconception auprès des entreprises et en soutenant l'innovation responsable, nous pouvons transformer les pratiques industrielles pour prévenir la pollution plastique [33].

3.3.8 Responsabilisation des producteurs

La responsabilisation des producteurs vise à faire porter aux fabricants une part de responsabilité dans la gestion des déchets générés par leurs produits, notamment les emballages en plastique. En instaurant des dispositifs de responsabilité élargie du producteur (REP) ou en encourageant les industries à prendre en charge le recyclage ou la collecte sélective de leurs produits, nous pouvons inciter les entreprises à adopter des pratiques plus durables. Des politiques de responsabilisation des producteurs ont montré leur efficacité pour stimuler l'économie circulaire et réduire la quantité de déchets plastiques mis sur le marché. En mettant en place un cadre réglementaire contraignant et incitatif, nous pouvons encourager les producteurs à concevoir des produits plus respectueux de l'environnement et à assumer leur responsabilité dans la gestion des déchets plastiques [33].

3.3.9 Renforcer la réglementation

Renforcer la réglementation en matières de gestion des déchets plastiques est essentiel pour garantir une meilleure protection de l'environnement et encourager des pratiques plus durables.

En mettant en place des normes plus strictes en matière de recyclage de réduction des plastiques à usage unique ou de promotion de l'économie circulaire, les gouvernements peuvent inciter les industries et les citoyens à adopter des comportements plus responsables. Des études montrent que la politique réglementaire efficace peut contribuer à réduire significativement la pollution plastique et à préserver les écosystèmes. En renforçant la réglementation existante et en l'adaptant aux enjeux actuels, nous pouvons améliorer la gestion des déchets plastiques à l'échelle mondiale [33].

3.3.10 Encourager l'innovation

Encourager l'innovation dans le domaine des matériaux et des technologies peut permettre de développer des solutions novatrices pour réduire la production des déchets plastiques et favoriser une économie circulaire. En investissant dans la recherche et le développement de plastiques biodégradables, de procédés de recyclage plus efficaces ou d'emballages durables, nous pouvons stimuler la transition vers des alternatives plus respectueuses de l'environnement. Des études montrent que l'innovation peut jouer un rôle clé dans la lutte contre la pollution plastique en proposant des solutions créatives et durables. En soutenant les initiatives innovantes et en favorisant la collaboration entre les acteurs publics et privés, nous pouvons accélérer la transition vers une économie plus verte et plus responsable [33].

3.3.11 Collaboration internationale

La collaboration internationale est essentielle pour aborder de manière efficace les défis posés par la pollution plastique, qui transcendent les frontières nationales et nécessitent une action concertée à l'échelle mondiale. En favorisant les échanges d'expertise, le partage de bonnes pratiques et la coordination des politiques entre les pays, nous pouvons renforcer la lutte contre la pollution plastique et promouvoir des solutions globales. Des initiatives telles que la Convention de Bale sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et leur élimination ou la Stratégie européenne pour les plastiques dans une économie circulaire illustrent l'importance de la coopération internationale dans la gestion des déchets plastiques. En encourageant la

collaboration entre les Etats, les organisations internationales et la société civile, nous pouvons relever ensemble le défi de la pollution plastique à l'échelle mondiale [33].

3.3.12 Promouvoir l'économie circulaire

Promouvoir l'économie circulaire, qui vise à réduire, réutiliser, recycler et valoriser les ressources, est une approche clé pour résoudre les problèmes liés aux déchets plastiques. En favorisant la conception de produits durables, la mise en place de filières de recyclage efficaces ou le développement de modèles économiques circulaires, nous pouvons limiter la production de déchets plastiques et préserver les ressources naturelles. Des études montrent que l'économie circulaire peut contribuer à réduire l'empreinte environnementale des plastiques en favorisant leur réutilisation et leur recyclage. En promouvant une approche circulaire dans la gestion des déchets plastiques, nous pouvons créer un cercle vertueux où les déchets deviennent des ressources précieuses pour l'économie [33].

3.3.13 Soutenir les initiatives locales

Soutenir les initiatives locales de gestion des déchets plastiques est crucial pour mobiliser les communautés, sensibiliser les citoyens et promouvoir des pratiques durables à l'échelle locale. En encourageant le développement de projets de collecte sélective, de compostage ou de sensibilisation environnementale au niveau communautaire, nous pouvons renforcer l'engagement citoyen et favoriser une gestion plus responsable des déchets. Des initiatives locales réussies ont montré leur impact positif sur la réduction de la pollution plastique et sur l'amélioration de la qualité de vie des populations. En soutenant les initiatives locales et en favorisant la participation citoyenne, nous pouvons construire ensemble un avenir plus durable et résilient face aux défis environnementaux [33].

3.3.14 Impliquer les entreprises

Impliquer les entreprises dans la gestion des déchets plastiques est essentiel pour promouvoir des pratiques responsables tout au long de la chaîne de valeur, depuis la conception des produits jusqu'à leur fin de vie. En encourageant les entreprises à adopter des stratégies d'écoconception,

à mettre en place des programmes de recyclage ou à investir dans des solutions innovantes, nous pouvons réduire l'impact environnemental de leurs activités et favoriser une économie plus durable. Des études montrent que l'implication des entreprises dans la gestion des déchets plastiques peut contribuer à réduire significativement la quantité de déchets générés par leur production. En incitant les entreprises à intégrer des critères environnementaux dans leur stratégie d'entreprise, nous pouvons encourager une transition vers des modèles économiques plus respectueux de l'environnement [33].

3.3.15 Evaluer et suivre le progrès

Evaluer et suivre le progrès dans la gestion de déchets plastiques est essentiel pour mesurer l'efficacité des actions mises en place, identifier les lacunes et ajuster les politiques en conséquence. En mettant en place des outils de suivi et d'évaluation des politiques environnementales, nous pouvons évaluer l'impact des mesures prises sur la réduction de la pollution plastique et sur la préservation des écosystèmes. Des systèmes de suivi performants permettent également de sensibiliser le public, d'informer les décideurs politiques et d'orienter les actions futures vers des solutions plus efficaces. En évaluant régulièrement nos progrès dans la gestion des déchets plastiques et en adoptant une approche basée sur les données probantes, nous pouvons améliorer notre réponse collective aux défis environnementaux posés par la pollution plastique [33].

Parmi ces solutions citées ci-haut, il y a celles qui sont valables pour des problèmes liés aux déchets plastiques dans le domaine de génie civil, qui sont entre autre : la sensibilisation et l'éducation, la réduction à la source, le collecte et le recyclage, l'innovation technologique, la collaboration et les partenariats ainsi que le renforcement de la réglementation [33].

3.4 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques problèmes que causent les déchets plastiques et différentes solutions pouvant aider à relever ce défi.

CONCLUSION GENERALE

Les déchets plastiques disséminés dans la nature causent des véritables problèmes à l'environnement d'où la nécessité d'une prise en charge effective de leur gestion.

En effet, la valorisation des déchets plastiques et la production des tuyaux en PEHD par le procédé d'extrusion sont deux enjeux majeurs qui ont constitué l'objet de notre travail.

La collecte et le recyclage efficaces des déchets plastiques sont des éléments clés pour réduire l'impact environnemental de la pollution en déchets plastiques, y a la création d'emploi, les gains économiques en substituant les matières vierges par celles recyclées ainsi que l'économie des ressources et d'énergie.

Pour cela, l'étude d'un échantillon d'entreprises opérant dans la production des tuyaux en PEHD nous a permis de voir l'importance de l'activité de recyclage dans la promotion d'un développement durable de notre milieu.

Les tuyaux en PEHD fabriqués par le procédé d'extrusion présente de nombreux avantages pour le secteur du génie civil. Tout d'abord, le PEHD est un matériau léger, flexible et résistant à la corrosion, ce qui en fait un choix idéal pour les applications souterraines telles que les réseaux d'assainissement, d'adduction d'eau potable ou de gaz.

Au travers de ce travail, nous avons pu explorer aussi les différentes pistes de solution pour optimiser la gestion des déchets plastiques et promouvoir la durabilité des pratiques de production. L'étude que nous avons fait souligne l'importance d'adopter une approche globale et intégrée pour relever les défis posés par les plastiques. En combinant sensibilisation, collecte et recyclage efficaces, réduction à la source, innovation technologique, collaboration et réglementation, nous pouvons contribuer à une gestion plus durable des déchets plastiques et à la promotion d'une économie circulaire plus responsable dans le secteur du génie civil.

Partant de ce travail, les futurs chercheurs peuvent penser à :

- ❖ Creuser davantage en cherchant des résultats issus des différents essais pour ce qui est de l'étude des comportements mécaniques des déchets plastiques surtout lorsqu'ils doivent

intervenir dans la confection du béton, la fabrication de pavés par exemple, d'où la nécessité de faire cette étude au laboratoires ;

- ❖ Explorer d'autres applications potentielles pour les déchets plastiques recyclés en construction tels que les revêtements de sol, les tuiles de toit, etc ;
- ❖ Réaliser des analyses approfondies de l'impact environnemental et économique de la valorisation des déchets plastiques en construction, notamment en comparant les couts et les avantages par rapport aux matériaux traditionnels ;
- ❖ Améliorer l'efficacité du processus d'extrusion pour obtenir des produits finis de meilleure qualité tout en réduisant la consommation d'énergie davantage.

Bibliographie

- [1] R. Geyer, Jambeck, R. J., Law et L. K., «Production, use, and fate of all plastics ever made,» Sciences Advances, 2017.
- [2] J. A. Brydson, *Plastics Materials*, Butterworth-Heinemann, 1999.
- [3] A. L. Andrady, *Plastics and Environmental Sustainability*, John Willey & Sons, 2015.
- [4] K. Adewale, *Handbook of Thermoplastic Polyesters: Homopolymers, Copolymers, Blends and Composites*.
- [5] C. Robertson, *Thermosets: Structure, Properties and Applications*.
- [6] P. N. Rao, *Elastomers and Rubber Compounding Materials: Manufacture, Properties and Applications*.
- [7] U. N. E. P. (UNEP), «Waste Definition and Classification,» 2019.
- [8] A. Michel, B. Marianne, B. Christophe, B. Michel, B. Philippe, D. Franck et M. Isabelle, *Gestion des déchets*, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.
- [9] (ADEME), «Valorisation des déchets plastiques: enjeux et perspectives».
- [10] J. Lemaire, *Les thermoplastiques Propriétés et applications*.
- [11] B. Garnier, *Guide pratique du recyclage*, 2018.
- [12] E. Commission, «Chemical recycling of pastics waste,» 2020.
- [13] P. E. BALEKA, «Recyclage et valorisation de déchets de l'industrie pétrochimique: cas de thermoplastiques,» Université de Kishasa: Faculté de pétrole, gaz et énergies renouvelables, 2023.
- [14] J. P. Deléage, *Gestion des déchets: Réduire, recycler, valoriser*.
- [15] F. Burel, *Thermodurcissables: Synthèse , caractérisation et applications*.
- [16] A. Dufour, *Valorisation énergtiques des déchets ménagers*.
- [17] ADEME, «Plastiques-Chiffres clés,» 2019.

- [18] B. Ragaert, Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, 2017.
- [19] J. M. Haudin, Les élastomères: De la matière à la structure, Tec & Doc Lavoisier, 2008.
- [20] A. Gandini, Polymers from renewable resources: a challenge for the future of macromolecular materials, 2013.
- [21] Ademe, Recyclage des pneumatiques usagés: Etat de l'art et perspectives, ADEME, 2019.
- [22] M. André, Guide du recyclage des pneus, Quae, 2015.
- [23] J.-M. Tambwe, Géographie du Congo-Kinshasa.
- [24] Weya Mazinkène Alfa, «Etude comparative du recyclage entre les déchets granulés et les matières premières Thermoplastiques (LDPE, HDPE et PET) Mélangé avec du sable pour la fabrication de pavés dans la ville de Kinshasa en RDC,» *Journal asiatique de l'environnement et de l'écologie*, vol. 22, pp. 85-94, 2023.
- [25] S. J., «A strategic decision framework for green supply chain management,» *Journal of Cleanser Production*, vol. 11, pp. 397-409, 2003.
- [26] M. Lashermes, «Traceability in the agri-food sector: A literature review,» *Food control*, vol. 96, pp. 107-122, 2019.
- [27] J. Christian, Recyclage des plastiques: Procédés, mise en oeuvre et normalisation.
- [28] J. Sarkis, «A strategic decision framework for green supply chain management,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 11, pp. 397-409, 2003.
- [29] M. Sina et al, *Use of Recycled Plastics in Concrete*, Critical Review, 2018.
- [30] P. I. Plastics, *High-Density Polyethylene Pipe Systems*, PPI, 2017.
- [31] P. I. Plastic, *Polyethylene Pipe Applications in Construction Industry*, PPI, 2019.
- [32] N. Geographic, *Plastic Pollution: Causes, Effects and Solutions*, NG, 2020.
- [33] E. MACARTHUR, «The New Plastics Economy,» EM Foundation, 2016.
- [34] J. & J. A. (. Smith, «Sustainable construction materials: recycled plastics in extruded products,» *Construction and Building Materials*, pp. 289-297.

ANNEXES

Annexe A : Eléments constituant l'extrudeuse de GEP

A.1. Boîte de vitesse



A.2. Boîte de commande



A.3. Canon



A.4. Moule



A.5. Tête de moule



A.6. Tracteur

