



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Techniques de production Industrielle

Présenté par :

BOUZINA Yacine & SAHRAOUI Ayache

Thème

TECHNIQUE D'ELABORATION ET DE CARACTERISATION DES PAVES DE RESINES THERMOPLASTIQUES

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Président
ROKBI Mansour	MCA	Encadreur
OUDINA Fateh	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2019 / 2020

N° d'ordre : GM/...../2020

Remerciements

En tout premier lieu, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Merci, Mes parents

*Merci, « **Dr Rokbi Mansour** » qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de réalisation de ce projet.*

*Nous remercions tous les personnels du « **Maghreb-pipe** » pour leur accueil de sa bonne humeur spécialement l'équipe de laboratoire chimique et mécanique (**Sofiane, Amine, Riyad**)*

*Et toutes nos amies les ingénieurs de spécialités «**Technique de production mécanique**»*

Nous adressons aussi nos remerciements à toutes les personnes qui, de près comme de loin, ont contribué à ce travail que ce soit par leur participation ou leur encouragement.

*Et enfin j'exprime toute mon affection et ma gratitude à ma famille (**mes parents, Ma femme et mes enfants.....**) pour son patience et son soutien indéfectible.*

DEDICACES

Je m'incline devant Dieu Tout - Puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.

Je dédie ce modeste travail à :

À mes très chers parents qui sont la source de ma réussite

À ma chère femme la plus patiente, la source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir continuer mes études.

À mes très chers enfants Mohamed Rayane, Raouane et Firas

A mes très chères sœurs, et chers frères

A mon encadreur Rokbi Mansour

*Une spéciale dédicace à mes collègues
A tous mes amis du département de Génie Mécanique*

BOUZINA Yacine

DEDICACES

Je m'incline devant Dieu Tout - Puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.

Je dédie ce modeste travail à :

À mes très chers parents qui sont la source de ma réussite

À ma chère femme la plus patiente, la source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir continuer mes études.

À mes très chers enfants

A mes très chères sœurs, et chers frères

A mon encadreur Rokbi Mansour

Une spéciale dédicace à mes collègues

A tous mes amis du département de Génie Mécanique

SAHRAOUI Ayache

Résumé

En matière de matériaux de construction, la tendance est au remplacement progressif des matériaux classiques par ce qu'on appelle les Bétons polymères. Ces matériaux élargissent donc considérablement la capacité de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs. Ce type de Béton est constitué d'une charge minérale (granulat) et d'un liant de polymère, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable. Pour la production des Bétons polymères, les agrégats utilisés dans la plupart des cas sont des sables de Quartz de granulométries différentes. Ces agrégats sont coûteux et les industries des matériaux en bétons polymères se trouvent dépendants. Dans cette perspective, nous proposons une valorisation de trois types de sable issus la région du Hodna pour la substitution du Quartz pour l'élaboration et de caractérisation des pavés de résines thermoplastique. Suite à la pandémie Covic-19 cette étude est orienté vers une synthèse des travaux élaborés dans cette perspective tout en gardant l'originalité du travail initial. L'étude s'est concentrée sur la conception d'une extrudeuse d'une extrudeuse mono-vis afin qu'elle l'utilisera pour la fabrication du Béton polymère (HDPE / Hodna sable). Une étude comparative entre des travaux réalisés par l'extrudeuse mono –vis est envisagée.

Mots clés : Bétons polymères / Sable de dune / Extrudeuse mono-vis / HDPE / Pavés

Abstract

In terms of building materials, the trend is towards the gradual replacement of conventional materials by what is called polymer concrete. These materials therefore greatly expand the ability to meet new consumer demands. This type of Concrete consists of a mineral filler (aggregate) and a polymer binder, sometimes thermoplastic but generally thermosetting. For the production of Polymer Concrete, the aggregates used in most cases are Quartz sands of different grain sizes. These aggregates are expensive and the polymer concrete materials industries are dependent. In this perspective, we propose a valuation of three types of sand from the Hodna region for the substitution of Quartz for the development and characterization of thermoplastic resin pavers. Following the Covic-19 pandemic, this study is geared towards a synthesis of the work developed in this perspective while keeping the originality of the initial work. The study focused on the design of an extruder of a single screw extruder to be used for the fabrication of Polymer Concrete (HDPE / Hodna sand). A comparative study between works carried out by the single-screw extruder is envisaged..

Keywords: Polymer concrete / Dune sand / Single screw extruder / HDPE / Pavers.

ملخص

فيما يتعلق بمواد البناء ، فإنه الاتجاه الحالي هو نحو الاستبدال التدريجي للمواد التقليدية بما يسمى نظيرتها الخرسانة البوليمرية. وبالتالي فإن هذه المواد تستطيع بشكل كبير تلبية طلبات المستهلكين الجديدة. يتكون هذا النوع من الخرسانة من مادة حشو معدنية (مجمعة) ورابط بوليمر، أحياناً ترموبلاستيكية ولكن بشكل عام ترموصلبة. لإنتاج الخرسانة البوليمرية ، الركام المستخدم في معظم الحالات هو رمال الكوارتز بأحجام حبيبات مختلفة. هذه الركام عالية الثمن وتعتمد عليه أساساً صناعات مواد الخرسانة البوليمرية. من هذا المنظور ، نقترح تقييم ثلاثة أنواع من الرمل من منطقة الحضنة لاستبدال الكوارتز لتطوير وتوصيف أرضيات ترموبلاستيكية. بعد وباء Covid-19 ، تم توجيه هذه الدراسة نحو تجميع العمل الذي تم تطويره في هذا المنظور مع الحفاظ على أصالة العمل الأولي. ركزت الدراسة على تصميم ماكينة أحادية ألولب لاستخدامه في صناعة الخرسانة البوليمرية (HDPE / Hodna sand). من المبرمج أيضاً إجراء دراسة مقارنة بين الأعمال التي يقوم بها الطارد أحادي اللولب.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة البوليمرية / الكثبان الرملية / الطارد احادي الولب / HDPE / أرضيات ترموبلاستيكية.

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites	
I.1-Introduction	04
I.2- Classification des matériaux composites	04
I.3 - Constituants des matériaux composites	06
I.3.1-Matrice	06
I.3.1.1- Matrices Organiques	07
a) Résines thermodurcissables (T D)	07
b) Résines thermoplastiques(T P)	07
I.3.1.2- Matrice céramique	08
I.3.1.3 - Matrice métallique	08
I.3.2 - Charge et additifs	08
I.3.2.1- Charges	08
I.3.2.2 -Additifs	09
I.3.3 -Renforts	09
I.3.3.1-Type des renforts	09
➤ Fibres de Verre	09
➤ Fibres de Carbone	10
➤ Fibres Aramides	10
➤ Fibres de naturelles	11
I.4 -Architecture des renforts	11
I.5 -Procédé de fabrication des composites	11
I.5.1-Moulage au contact	12
I.5.2 -Moulage par projection simultanée	12
I.5.3- Injection thermodurcissable BMC	13
I.5.4.Compression thermodurcissable	13
I.5.5.Pultrusion	13
I.5.6. Enroulement filamentaire (ou bobinage)	14
I.6 -Matériaux composites en Génie Civil	14
I.7. Matériaux composites en Bétons Polymères	17

I.7.1-Intérêt des composites à matrices polymères pour la construction	17
--	----

I.8 -Conclusion	17
-----------------------	----

Chapitre II : Généralités sur le béton polymère

II.1 – Introduction	18
---------------------------	----

II.1. Béton polymère	18
----------------------------	----

II.2.1. Définition	18
--------------------------	----

II.2.2.Composition principale d'un béton polymère	19
---	----

a) Liant	19
----------------	----

b) Agrégats	19
-------------------	----

II.2.3 Structures des polymères	20
---------------------------------------	----

a) Polymères linéaires	20
------------------------------	----

b) Polymères ramifiés	20
-----------------------------	----

c) Polymères réticulés	21
------------------------------	----

d) Polymères amorphes et polymères cristallisés	21
---	----

II.2.4.Caractéristiques des bétons polymères	22
--	----

II.2.4.1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère.....	22
--	----

II.2.4.2.Caractéristiques chimiques d'un béton polymère	22
---	----

II.2.4.3. Caractéristiques physiques d'un béton polymère	22
--	----

II.2.4.4. Caractéristiques hydrauliques	22
---	----

II.2.5. Propriétés de béton polymère	23
--	----

II.2.6. Principaux avantages et les inconvénients du béton polymère.....	23
--	----

II.2.5.1.Avantages d'un béton polymère	23
--	----

II.2.5.2. Inconvénients d'un béton polymère	24
---	----

II.3.Résines thermoplastiques (TP)	24
--	----

II.4 - Béton polymère à base résines thermoplastique.....	26
---	----

II.4.1-Propriétés mécaniques des polymères thermoplastiques.....	26
--	----

II.4.2- Recyclabilité : le vrai plus des composites thermoplastiques.....	26
---	----

a) Thermoformables et thermosoudables	27
---	----

b) recyclables	27
----------------------	----

II.4.3 -Solidité d'un polymère à base résines thermoplastiques	27
--	----

II.4.4 - Polyéthylènes	27
------------------------------	----

II.4.4.1 –Définition	27
----------------------------	----

II.4.4.2 Différents types de polyéthylènes	28
--	----

II.4.4.3 Méthode de fabrication du polyéthylène	28
---	----

II.4.4.4 Propriétés des polyéthylènes hautes densité.....	29
a) Propriétés physique	29
b) Propriétés chimiques	29
c) Propriétés électriques	29
d) Propriétés thermiques	29
e) Propriétés mécaniques	29
II. 4.4.5 Domaines d’application du PEHD	30
II. 4.4.5.1 -Applications primaires des plastiques.....	30
II. 4.4.5 .2 - Applications secondaires après recyclage mécanique.....	30
II. 4.4.6 - Avantages et inconvénients du PEHD	30
a) Avantages mise en œuvre aisée.	30
b) . Inconvénients	31
II. 4.4.7- Applications du béton polymère à base thermoplastique.....	31
II. 4.4.8 – Pavés	31
a) Types de pavés	31
b) Caractéristiques géométriques	31
c) Domaines d’emploi	32
d) Pavé à base de résines thermodurcissables.....	32
e) Avantages des pavés en résine	33
II.5. Conclusion	33

Chapitre III Carrières de sable dans la région de M’sila

III.1- Introduction	34
III. 2- différentes carrières de sable	34
III.2.1 – Définition	34
III.2.2 - Formation des sables	34
III.2.3 - Composition minéralogique	34
III.2.4 - Classification des sables	35
III.2.4.1 - Classification suivant la nature du sédiment	35
III.2.4.2- Classification suivant l’origine	35
III.2.4.2.1 - Sable naturel	35
III.2.4.2.2 - Sable artificiel	35
III.2.4.2.2- Classification suivant la granulométrie	36
III.2.5-Utilisation du sable	36
III.2.6 -Cordon dunaire	37

III.2.7- Cadre légal	38
-----------------------------	-----------

III.5. Conclusion	39
--------------------------	-----------

Chapitre IV. Déchets plastiques

IV. 1-Introduction	40
---------------------------	-----------

IV.2- Déchets plastiques	40
---------------------------------	-----------

a) Déchets plastiques industriels	40
--	-----------

b) Déchets de production	40
---------------------------------	-----------

c) Déchets de transformation	41
-------------------------------------	-----------

IV.2.1-Valorisation du plastique	41
---	-----------

a) Valorisation énergétique	41
------------------------------------	-----------

b) Valorisation matière, ou valorisation mécanique	41
---	-----------

c) Valorisation chimique	41
---------------------------------	-----------

IV. 2.2- Reconnaissance des plastiques les plus courants	42
---	-----------

IV. 2.2.1-Code d'identification des résines	42
--	-----------

IV. 2.2.2 -Les plastiques recyclables	42
--	-----------

a) PET : Polyéthylène téréphtalate	42
---	-----------

b) PEHD : Polyéthylène haute densité	43
---	-----------

c) PVC : Polychlorure de vinyle	43
--	-----------

d) PELD : Polyéthylène basse densité	43
---	-----------

e) PP : Polypropylène	43
------------------------------	-----------

f) PS : Polystyrène	44
----------------------------	-----------

IV. 2.2.3- Principes du recyclage	44
--	-----------

IV. 2.2.4 -Deux méthodes de recyclage des déchets plastiques les plus répandues	45
--	-----------

a) Régénération	45
------------------------	-----------

b) La fabrication d'éléments de construction	46
---	-----------

IV. 2.7- Évaluation de la qualité du produit recyclé	47
---	-----------

IV. 2.8 - Différents procédés de transformation du plastique	47
---	-----------

IV. 2.8.1- Calandrage	47
------------------------------	-----------

IV. 2.8.2- Thermoformage	48
---------------------------------	-----------

IV. 2.8.3- Injection	49
-----------------------------	-----------

IV. 2.8.4- Extrusion	49
-----------------------------	-----------

IV. 2.8.5- L'expansion moulage	50
IV. 3 - Impact du recyclage des déchets sur l'environnement	51
IV. 3.1-Définition	51
IV. 3. 2. Impact environnemental	51
IV. 3. 2. 1-Impacts directs	52
IV. 3. 2. 2-Impacts indirects	52
IV.4- Conclusion	52

Chapitre V. Méthode d'élaboration de pavés de résines thermoplastiques

V.1- Introduction	54
V.2- Méthode d'élaboration	55
V.3 - Matériaux utilisés	55
V.3.1- Déchets plastiques	55
V.3.1.1- Caractéristiques des plastiques	56
V.3.2- Sable	56
V.3.2.1 - Analyse granulométrique	56
V.3.2.2- Essai d'équivalent de sable	57
V.3.2.3 - Module de finesse d'un granulat	58
V.4 - Broyeur de plastique	58
V.4.1-Introduction	58
V.4.2- Broyeur à lames	59
V.4.3- Fonctionnement du broyeur	59
V.4.4 - Schéma cinématique du broyeur à lame	60
V.5 - Extrudeuse mon-vis à résistances électriques	60
V.5.1- Introduction	60
V.5.2- Extrudeuse mono-vis	61
V.5.2.1- Roule de l'extrudeuse	61

V.5.3 – Description de l’extrudeuse mono-vis	.....62
V.5.3.1 – Description de l’alimentation de matière dans la Trémie.....	62
V.5.3.2 – Description de Fourreau	.....62
V.5.3.3 – Description de la vis de plastification	.....63
a) Géométrie de la vis	.....63
b) Caractéristiques d’une vis de plastification	.....64
V.5.3.3.1 –Zone d'alimentation ou d'entrée	.....65
V.5.3.3.2 – Zone de compression	.....65
V.5.3.3.3 –Zone de pompage	.....66
V.5.3.4 - Extrudeuse « de référence »	.....66
V.5.3.4.1- Mécanisme de déplacement du polymère.....	67
V.5.3.4.2- Description physique du frottement polymère-métal.....	67
V.5.3.4.2. Palier	.....68
V.5.3.5 – Transmission	.....69
V.5.3.5.1- Principales caractéristiques	.....70
V.5.3.5.2- Comparaison avec les courroies	.....70
V.5.3.5.3- Chaînes à rouleaux	.....71
V.4.7- Parte électrique de l’extrudeuse	.....72
V.4.7.1- Groupe d’entraînement (Motoréducteur)	.....72
V.4.7.2 – Accouplement élastique (couple nominale à transmettre)	73
V.4.7.2 – schéma électrique de Motoréducteur	.....74
V.4.7.2 - Régulateur de Température	.....75
V.4.7.3 – Thermocouple	.....75
V.4.7.4 - Principe de fonctionnement	.....75

V.4.7.5 - Diagramme de câblage électrique	.....75
V.4.7.6 - Relais Statique	.....76
V.4.7.7 - Collier chauffant	.....76
V.5 - Organisme d'extrudeuse à réaliser	.....77
V.5.1 - Dessin d'ensemble de l'extrudeuse	.....79
V.5.2 - Schéma cinématique de l'extrudeuse	.....81
V.5.2.1- Dessin de définition des éléments principaux de l'extrudeuse.....	82
V.6 - Presse et moule	.....87
V.6.1 - Presse manuelle	.....87
V.7 – conclusion	.....88

Chapitre VI Analyse des travaux dans le domaine BP à matrice organique thermoplastique

VI.1- Introduction	.....89
VI.2- Analyse des travaux dans le domaine du Béton Polymère à liant thermoplastique...89	
VI.2.1- le comportement du BP	.....89
VI. 3- Conclusion	.....96
- Conclusion générale	.....97
- Références bibliographiques	.....98

Liste des tableaux

Tableau. I.1.Exemples de matériaux composites, pris au sens large	6
Tableau I.2 : Comparaison entre les deux types de résines	8
Tableau. II.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de ciment	23
Tableau II. 2 : Quelques propriétés des polymères thermoplastiques	26
Tableau II.3 : Caractéristiques majeurs des différentes familles des polyéthylènes	28
Tableau II.4 : Propriétés mécaniques du PEHD	29
Tableau III.1 : Différents sablières en activité au niveau de M'sila	38
Tableau V.1 :Caractéristiques des plastiques très recyclables	56
Tableau V. 2 : Définition des classes de dimension selon la norme AFNOR 18-540	57
Tableau V.3 : Valeur préconisée pour ES (équivalent de sable)	58
Tableau V.4 : Matières et traitements pour vis et fourreaux	67
Tableau V.5 :Valeurs caractéristiques du coefficient de frottement polymère/acier	68
Tableau V.6: Caractéristiques des principales chaines à rouleaux (NF ISO 606)	71
Tableau V.7: les composants de la machine extrudeuse	78
Tableau VI.1 : Caractéristiques du sable et des sachets plastiques	89
Le tableau VI.2 : Résume le comportement du béton polymère à base de plastique recyclé .	95

Liste des figures

FIG I.1 : Constituants d'un matériaux composites	4
FIG I.2: Structures géométriques des composites	5
FIG I.3 :Classification de différentes familles de matrice	7
FIGI.4:Fibre de verre	9
FIG I.5: Fibre de carbone	10
FIG I.6 : Fibre de d'Aramides	10
FIG I.7 : Fibre de naturelles	11
FIG I.8 :Technique de moulage	12
FIG I.9 : Moulage au contact	12
FIG I.10 :Moulage par projection simultanée	13
FIG I.11:Injection thermodurcissable BMC	13
FIG I.12 : Compression thermodurcissable	13
FIG I.13 :Procédé de pultrusion	14
FIG I.14: La pultrusion des matériaux composites	14
FIG I.15 :Enroulement filamentaire (ou bobinage)	14
FIG I.16 :Tuyaux en composite	16
FIG I.17 :Réservoirs en composites	16
FIG I.18 :Clôture En composite	16
FIG II.1 : Béton polymère	19
FIG II.2 : Composition du béton polymère	20
FIG II.3 : Représentation schématique de polymères linéaires	20
FIG II.4 : Représentation schématique de polymères ramifiés	21
FIG II.5 : Représentation schématique de polymères réticulés	21
FIG II.6 : Structure des polymères.	22
FIG II.7 :Mode de fabrication des principaux thermoplastiques	25
FIG II.8 : Sphérolite	28
FIG II.9 : Pavés en béton	32
FIG III.1 : Quelques photos sur la sablière d'erg siouf de Khoubana.	37

FIG III.2 : Géologie de Hodna (au 1/500.000, 1952 adaptée)	39
FIG IV.1 :Différents types de déchets plastiques	41
FIG IV.2 : Codage de matériaux plastiques	42
FIG IV.3 : PET	42
FIG IV.4 : PEHD	43
FIG IV.5 : PVC	43
FIG IV.6 : PE-LD (PE-BD)	43
FIG IV.7 : PP	44
FIG IV.8 : PS	44
FIG IV.9 : Ligne d'extrusion d'un capacité d'une tonne/ jour	46
FIG IV.10: Schéma du processus standard de régénération	46
FIG IV.11 : Pavés et briques de mélange sable-plastique	47
FIG IV.12 : Principe du calandrage	48
FIG IV.13 : Principe du thermoformage	48
FIG IV.14 : Principe d'injection	49
FIG IV.15 : Principe d'extrusion	50
FIG IV.16: Types de profile obtenu par extrusion	50
FIG IV.17 : Procède d'expansion moulage	50
FIG V.1 - Schéma de processus de fabrication des pavés	54
FIGV.2 :Schéma de la procédure d'élaboration des échantillons	55
FIG V.3: Polyéthylène haute densité	55
FIGV.4 :Technique d'analyse granulométrique	56
FIGV.5 : Les matériels. Source Wikipédia.	57
FIG V.6 : machine de broyage bases sur le martelage	58
FIGV.7 :Schéma du broyeur a lame	59
FIG V.8 : Schéma d'une extrudeuse mon-vis.	61
FIG V.9 : Schéma de l'extrudeuse mono-vis.	61
FIG V.10 : la trémie	62
FIG V.11 : Fourreau	63
FIG V.12 : Régulation thermique de fourreau	63

FIG V. 13 : Profil de vis : zones géométriques.	63
FIG V. 14 : Géométrie du système vis-fourreau. 1. Fourreau. 2. Corps de la vis.	64
FIG V.15 : Géométrie de l'extrudeuse de référence.	66
FIG V.16 : schéma représente la pression et la contrainte d'écoulement	68
FIG V.17 : palier à roulement	68
FIG V.18 : 23b. Dimensions des chaînes à rouleaux (NF ISO 606).	71
FIG V19 : Chaîne à rouleaux.	71
FIG V20 : Principaux constituants.	71
FIG V21 : Principales dimensions.	71
FIGV.22 : Motoréducteur	72
FIGV.23 : schéma électrique de Motoréducteur	74
FIG V.24 : THERMOCOUPLE	75
FIG V.25: régulateur de température	76
FIG V.26 : relais statique	76
FIG V.27: collier chauffant	76
FIGV.28 : Organisme d'extrudeuse	77
FIGV.29: presse manuelle	87
FIG VI.1 : Distribution granulométrique du sable utilisé	90
FIG VI.2 : Dispositif expérimental de préparation des éprouvettes	91
FIG VI.3 : Dispositif expérimental de détermination de propriétés mécaniques	91
FIG VI.4 : Variation de la densité en fonction de la teneur en liant	92
FIG VI.5 : Résistance en fonction de la teneur en liant	92
FIG VI.6 : Déformations en fonction de la teneur en liant	93
FIG VI.7 : Module d'élasticité en fonction de la teneur en liant	93
FIG VI.8: Absorption d'eau	94

Liste des symboles

P (%) est le pourcentage massique du plastique

M_p est la masse de plastique

M_s est la masse du sable

ES Equivalent de sable

M_f : Le module de finesse d'un granulat

D_1 : Diamètre intérieur du fourreau

D : Diamètre extérieur du fourreau

D_{2p} : zone de pompage

D_{2a} : zone d'alimentation

B : Pas de la vis

L : Longueur de la vis :

L_p : zone de pompage

L_c : zone de compression

L_a : zone d'alimentation

e : Épaisseur des filets de vis

Ω : Vitesse de rotation de la vis

T : le frottement

p : la pression de contact

f : le *coefficient de frottement*

- P : La puissance en W

- C : Le couple en N.m

- Ω : La vitesse de rotation de la vis en rad/s

Q : Le débit en t/h

Liste des abréviations

CMO : Composites à Matrices Organiques

CMC : Composites à Matrices Céramiques

CMM : Composites à Matrice Métallique

TD Matrice thermodurcissable.

TP Matrice thermoplastique.

U.V : La lumière noire

BP Le béton polymère.

PEHD : polyéthylène haute densité

PEBD : polyéthylène basse densité

PVC : polychlorure de vinyle

PET : polyéthylène téréphtalate

PS : polystyrène

PP : polypropylène

PEBDl : le polyéthylène basse densité linéaire

PEBDr : polyéthylène basse densité ramifié

PEMD : le polyéthylène moyenne densité

EIE : Etude d'Impact sur l'Environnement

PP Polypropylène.

REP : Responsabilité élargie du producteur

Introduction générale

Aujourd'hui , et surtout à notre pays , les déchets plastiques constituent un vrai problème de développement et de gestion de notre environnement. La stratégie proposée est d'inviter les utilisateurs à ne plus jeter ces déchets dans la nature mais cela passe par une sensibilisation au respect de leur environnement, mais aussi plus sûrement en donnant à ces sacs ou à ces bouteilles plastiques une valeur marchande en les valorisant en produits utiles. Plusieurs études entreprises ont démontré qu'il était possible de les transformer, par fusion, avec adjonction de sable ou non, en divers produits d'excellente qualité, comme des panneaux de signalisation, des pavés de sol, des briques de la maçonnerie, des dalles de caniveaux et de latrines .

Dans la vie des êtres humains, l'extrusion des polymères occupe une très grande place, son existence est devenue une chose incontournable, du fait que chacun de nous prouve chaque jour d'utiliser un sachet pour apporter ces achats, sans oublier que plusieurs de nos achats sont fabriqués en partie ou en totalité des matières plastiques. Malheureusement, la multiplicité des types de matières plastiques, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères posent de nombreux problèmes au niveau du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de post-consommation aussi que pour le choix des types des sables pour obtenir un mélange homogène et de grande qualité. Le renforcement des plastiques pourrait contribuer à économiser des ressources rares, à créer des emplois et des revenus et à réduire les impacts sur l'environnement.

Le béton polymère qui est un matériau composite dont le liant est constitué entièrement d'un polymère organique commence à prendre de l'ampleur dans le marché des matériaux de construction . Désigné sous l'appellation de béton de résine synthétique, de béton de résine plastique ou de béton de polymère, il est ainsi constitué d'une charge minérale et d'un liant de polymère, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable. Lorsque la charge est constituée de sable, le composite obtenu est appelé mortier de résine.

Pour atteindre les objectifs de ce travail , on s'est posé deux questions ci- après :

- ✓ Les plastiques peuvent-ils être de bons liants pour la fabrication des matériaux de construction ?
- ✓ La production des pavés à base de résine de qualités à partir de mélange du sable et des plastiques fondus, peut-elle concurrencer celle des pavés en béton ordinaire?

Les objectifs principaux de ce travail scientifique consistent à proposer les formulations et paramètres de fonctionnement de fabrication des pavés à base de résine qui donnent les résultats les plus intéressants au niveau technique en montrant l'effet du type de silice sur les caractéristiques mécaniques des pavés de résines thermoplastiques

Les objectifs spécifiques qui en découlent sont les suivants :

- ✓ Faire la typologie et la caractérisation des trois types des sables disponibles : sable de Boussaâda et voir son comportement sous l'action de la chaleur ;
- ✓ Faire la typologie des plastiques disponibles et leurs comportements sous l'action de la chaleur
- ✓ Faire la conception et la réalisation d'une machine extrudeuse pour produire une matière homogène et de grande qualité .
- ✓ Élaborer une série d'expérimentation en tenant compte des études antérieures et fabriquer ainsi des pavés en tenant compte des conditions et des paramètres (qualité de sable, température, temps de malaxage et épaisseur des pavés, type de refroidissement) ;
- ✓ Faire des tests de résistances mécaniques des pavés fabriqués (résistance à la compression, charge de rupture, poinçonnement etc.)
- ✓ Faire une comparaison entre des travaux déjà réalisés.

Le présent mémoire sera organisé sous forme de six chapitres. Ils décrivent les matériaux et les méthodes utilisées dans cette étude, le choix des matériaux, une description détaillée de la préparation, la conception d'un extrudeuse et le principe de travail d'un broyeur , les méthodes d'essai et les résultats obtenus auparavant par quelques chercheurs. Ces derniers seront présentés et discutés dans le dernier chapitre. Enfin une conclusion générale qui peut être éclaircie et conclue notre travail.

Une démarche associant les étapes suivantes : études, analyses et expériences, conception se résume comme suite :

- Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous apportons une connaissance des matériaux composites, puis nous présentons les différents constituants des composites ainsi que le procédés de fabrication de ces matériaux.
- Dans le deuxième chapitre, une étude bibliographique sur le béton polymère des points de vue caractéristiques, utilisation ainsi qu'une comparaison avec les bétons ordinaires.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons une bibliographie sur le sable est faite afin d'avoir quelques informations sur sa formation et ses utilités dans la construction, un panorama des différentes sablières est présenté dans la région de M'sila.

- Le quatrième chapitre, nous présentons les grandes valeurs des déchets plastiques et nous avons montré qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons et mortiers et même d'autres types de déchets comme les granulats recyclés de démolition et/ou de construction.
- Le cinquième chapitre, nous décrivons le technique d'élaboration du béton polymère et les caractéristiques mécaniques des pavés de résines thermoplastiques à partir de la valorisation des déchets plastiques surtout le PEHD , nous présentons le schéma de fabrication des pavés par une unité de recyclage de matière plastique (broyeur – extrudeuse), nous avons aussi fait la conception d'une extrudeuse qui pourra réaliser.
- Le sixième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus à partir des travaux déjà réalisés avec des discussions.

Enfin une conclusion générale .

CHAPITRE I
Généralité sur les matériaux composite

I.1-Introduction

L'expression « matériau composite » est un terme qui désigne un matériau solide et hétérogène, se forme de plusieurs composants distincts, dont l'association va acquise l'ensemble des propriétés.

La réalisation des matériaux composites comporte au moins deux composants: le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser. Pour cela, un agent de liaison, appelé interface, est nécessaire (**FIG I.1**). Des charges et des additifs peuvent être ajoutés au composite sous forme d'éléments fragmentaires, de poudres ou liquide, afin de modifier une propriété de la matière à laquelle on l'ajoute (par exemple la tenue aux chocs, la résistance aux UV, la résistance au feu...)[1].

Les matériaux composites trouvent leurs applications dans plusieurs filières de l'industrie et particulièrement dans le domaine génie civil. Ces derniers se développent aujourd'hui pratiquement dans tous les domaines et sont à l'origine de formidables challenges dans diverses réalisations de haute technologie. Ils élargissent la capacité de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs. Ce chapitre nous apporte des généralités qui prisent de la littérature ouverte sur ces matériaux composites. Des définitions qui éclaircissent la signification d'un matériau composite, sans oublié de traiter les caractéristiques principale des composites et leur constituants.

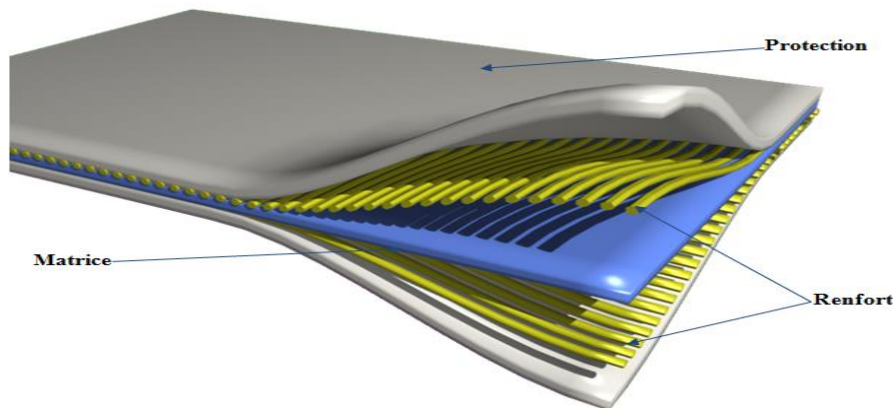
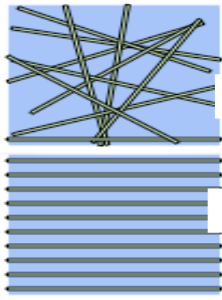


FIG I.1 : Constituants d'un matériaux composites

I.2- Classification des matériaux composites

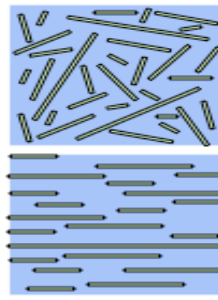
Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs parties discontinues réparties dans une partie continue (**FIG I.2**). La partie discontinue, appelée renfort, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la partie continue, appelée matrice. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure [3].

Orientées

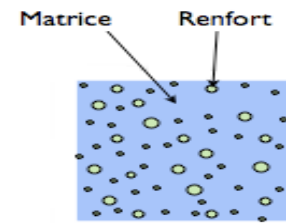


(a) fibres longues,

En vrac



(b) fibres courtes,



(c) particules

FIG I.2: Structures géométriques des composites [4]

La réalisation d'un matériau composite nécessite donc l'association d'au moins deux composants : le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles entre eux.

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites qui peuvent être classés suivant différents critères. La nature de la matrice est un de ces critères qui permet de répartir les composites en trois grandes familles [1] :

- ✓ Composites à Matrices Organiques (CMO), telles que les polymères organiques (résine thermodurcissable ou thermoplastique).
- ✓ Composites à Matrices Céramiques (CMC) réservés aux applications à haute température.
- ✓ Composites à Matrice Métallique (CMM).

Les composites sont souvent désignés selon le type de renfort. Ainsi, ils existent des composites à particules, des composites sandwichs, des composites à phases dispersées ou encore des composites fibreux [1]. Des exemples de matériaux composites prisent au sens large sont donnés par le Tableau I.1.

Tableau. I.1.Exemples de matériaux composites, pris au sens large.[5]

Type de composite	Constituants	Domaines d'application
1. Composites à matrice organique Papier, carton Panneaux de particules Panneaux de fibres Toiles enduites Matériaux d'étanchéité Pneumatiques Stratifiés Plastiques renforcés	Résine/charges/fibres cellulosiques Résine/copeaux de bois Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomères/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, etc. Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale Béton Composite carbone-carbone Composite céramique	Ciment/sable/granulats Carbone/fibres de carbone Céramique/fibres céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, bio-médecine, etc. Pièces thermo-mécaniques
3. Composites à matrice Métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4. Sandwiches { Peaux { Ames	Métaux, stratifiés, etc. Mousses, nids d'abeilles, balsa, plastiques renforcés, etc.	Domaines multiples

I.3 - Constituants des matériaux composites

I.3.1-Matrice

Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymères existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation. Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique, ou carbone sont utilisés. La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée par la **FIG I.3**.

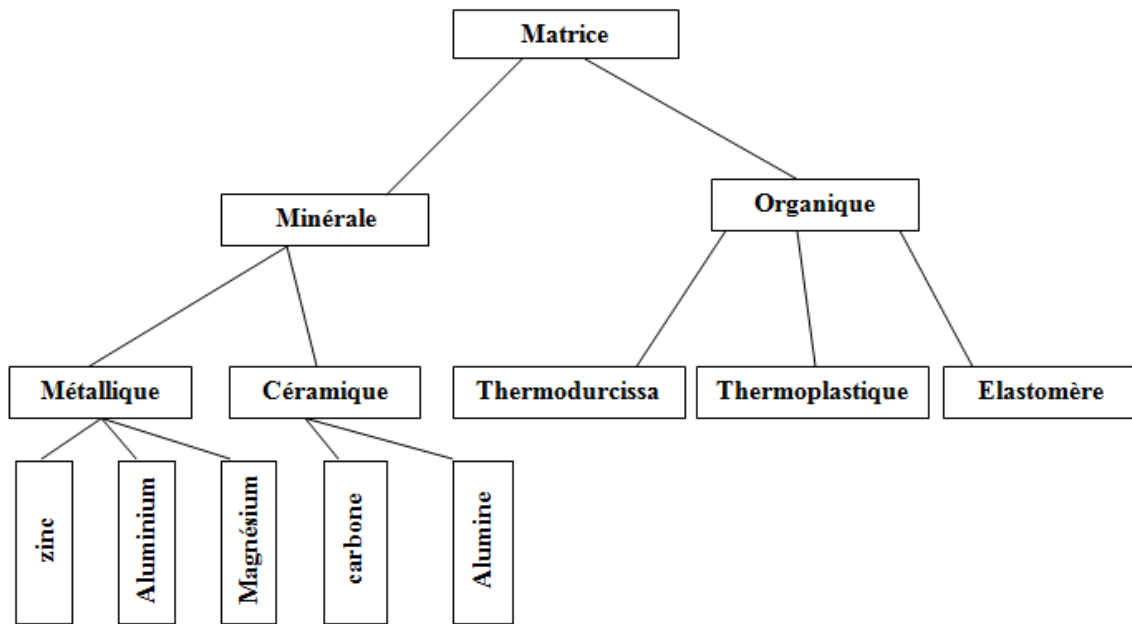


FIG I.3 :Classification de différentes familles de matrice

I.3.1.1- Matrices Organiques

a) Résines thermodurcissables (T D)

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants. Les résines polyesters insaturées, les résines de condensation (phénoliques, amioplastes, furaniques) et les résines époxy sont des résines thermodurcissables.

Les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible [6]

b) Résines thermoplastiques(T P)

Les résines thermoplastiques existent depuis les années 70 et se présentent à température ambiante sous forme de poudres ou granulats. Pour être mise en œuvre, la résine thermoplastiques est portée à haute température (dite température de mise en œuvre autour de 400°C) puis subit un refroidissement à vitesse maîtrisée pour obtenir la structure cristalline appropriée et déterminant les propriétés mécaniques de la pièce en matériau composite. La qualité des résines et le cycle des températures déterminent donc la structure cristalline du matériau et donc les performances mécaniques du matériau composite thermoplastique. La connaissance du phénomène physico-chimique au sein de la matière sous l'action du cycle de température fait l'objet de recherches académiques . Les procédés de fabrication les plus répandus sont l'injection thermoplastique (lorsque les fibres sont courtes 2 à 3mm), l'estampage (lorsque les fibres sont longues),

Il est important de bien situer les différences fondamentales Tableau.(I.2) de ces deux types de matrices.

Tableau I.2 : Comparaison entre les deux types de résines.[2]

Matrices	Thermoplastiques TP	Thermodurcissables TD
Etat de base	Solide prêt à l'emploi	Liquide visqueux à polymériser
Stockage	Illimité	Réduit
Mouillabilité des renforts	Difficile	Aisée
Moulage	Chauffage + refroidissement	Chauffage continue
Cycle	Court	Long (polymérisation)
Tenue au choc	Asses bonne	Limitée
Tenue thermique	Réduite	Meilleure
Chutes et déchets	Recyclables	Perdus ou utilisés en charges
Conditions de travail	Propreté	Emanations de solvants

I.3.1.2- Matrice céramique

Les matériaux utilisés sont les carbures de silicium et de carbone. Ils entrent dans la fabrication des pièces qui subissent des contraintes d'origine thermique et leur coût est très élevé [7].

I.2.3.1.3 - Matrice métallique

Les composites à matrice métallique (CMM) possèdent une bonne tenue en température ainsi que de bonnes propriétés électriques et thermiques. Par rapport aux métaux, ils ont une meilleure stabilité dimensionnelle, ainsi qu'une meilleure résistance à l'usure .[7]

I.3.2 - Charge et additifs

I.3.2.1- Charges

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé [8].

Les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences :

- ✓ Compatibilité avec la résine de base.
- ✓ Mouillabilité et faible action abrasive.
- ✓ Uniformité de qualité et de granulométrie.
- ✓ Bas prix de revient.

- **Charges organiques** : Ils sont utilisées en tant que charges des résines thermodurcissables, (Farines de bois, Fibres végétales, Amidons...).
- **Charges minérales** : Comme les craies et les carbonates, les silices, les talcs, les argiles.
- **Oxydes et hydrates métalliques** : Alumine, Trioxyde d'antimoine, Les céramiques...
- **Verre** : Poudres de verre, billes de verres creuses...
- **Carbone** : Le noir de carbone

I.3.2.2 -Additifs

Les additifs améliorent l'apparence ou les propriétés du produit final. Les plus fréquemment Utilisés sont les colorants, suivis des lubrifiants. Parmi les autres additifs, on retrouve les stabilisateurs de lumière, les agents de protection contre les rayons U.V., les agents antimicrobiens et les agents ignifuges [9].

I.3.3 -Renforts

Le renfort d'un matériau composite est le constituant qui va supporter la plus grosse partie des efforts mécaniques. Il peut se présenter sous différentes formes [8]:particulaire, charges sous forme de microbilles, de fibres broyées, d'écailles ou de poudre micro ou nano particulaire, fibres courtes, pour les renforts surfaciques non texturés tel que le mat, fibres continues pour les renforts texturés tels que les tissus (taffetas, sergé et satin,...), ou les renforts unidirectionnels tels que les nappes.

I.3.3.1-Type des renforts

Il existe des architectures fibreuses complexes multidirectionnelles 2D, 3D voir même 4D, Parmi les fibres les plus employées, on peut citer :

➤ **Fibres de Verre**

Les fibres de verre ont un excellent rapport performance prix qui les placent de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans la construction de la structures composites .

On distingue trois types de fibres(**FIGL4**) :

- E : pour les composites de grande diffusion et les applications courantes ;
- R : pour les composites hautes performances ;
- D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).



FIGL4:Fibre de verre

➤ Fibres de Carbone

Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un polymère de base, appelé précurseur. Actuellement, les fibres précurseur utilisées sont des fibres acryliques élaborées à partir du polyacrylonitrile (PAN). La qualité des fibres de carbone finales dépend fortement des qualités du précurseur (FIG I.5).

Le principe d'élaboration est de faire subir aux fibres acryliques une décomposition thermique sans fusion des fibres aboutissant à une graphitisation. Le brai qui est un résidu de raffinerie issu du pétrole ou de la houille est également utilisé pour produire des fibres de carbone.



FIG I.5: Fibre de carbone

➤ Fibres Aramides

Les fibres aramides ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbonnes mais leurs résistances à la compression faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composites. Pour y remédier, des images des fibres peuvent être utilisé (FIG I.6) :

Quelque exemple de fibres Aramides :

- KEVLAR (Dupont de Nemours, USA) ;
- TWARON (AKZO, Allemagne-Hollande) ;
- TECHNORA (TEIJIN, Japon).



FIG I.6 : Fibre de d'Aramides

L'utilisation de composites à fibres hybrides permet également de remédier aux faiblesses des composites fibres aramides. Des renforts hybrides de type verre. KEVLAR ou CARBONE – KEVLAR sont largement utilisés dans le domaine des loisirs (SKI, raquette de tennis).

➤ **Fibres de naturelles**

Elles pourront constituer une alternative intéressante aux fibres de verre en raison de leur plus grande facilité de recyclage lorsque leurs propriétés physiques seront mieux appréhendées. Actuellement, elles présentent plusieurs verrous techniques majeurs pour une utilisation massive dans les matériaux composites(FIG I.7).



FIG I.7 : Fibre de naturelles

I.4 -Architecture des renforts

Les structures composites sont anisotropes. La plupart des renforts travaillent bien en traction, mais offrent de moins bonnes performances en compression et cisaillement. Il est donc impératif de jouer sur la texture et la géométrie des renforts pour créer une architecture adaptée[2].

Ils existent différentes géométries et textures de renforts nous pouvons citer : les mats, les tissés, les unidirectionnels, les tricots et les multidirectionnels .

- ✓ **Les mats:** Sont des nappes de filaments, de fibres discontinues, disposés sans orientations préférentielles et maintenus ensemble par un liant soluble. Ce sont des matériaux déformables dans leur plan et peu coûteux malgré des propriétés mécaniques moindres.
- ✓ **Les tissus:** Sont réalisés sur des métiers à tisser. Ils sont obtenus par entrecroisement des mèches selon deux directions perpendiculaires : chaîne et trame. Ils peuvent avoir différentes armures : la toile ou le taffetas, le sergé et le satin. L'armure contrôle la rigidité du tissu.
- ✓ **Les unidirectionnelles :** Sont constituées de fils de chaînes maintenus par des fils de trame fins.

I.5 -Procédé de fabrication des composites [2]

Trois opérations sont indispensables :

- Imprégnation du renfort par le système résineux.
- Mise en forme à la géométrie de la pièce.
- Durcissement du système :
 - soit par polycondensation et réticulation pour les matrices thermodurcissables,

- soit par simple refroidissement pour les matières thermoplastiques.

Il existe différentes techniques mais la plus utilisée est par moulage.

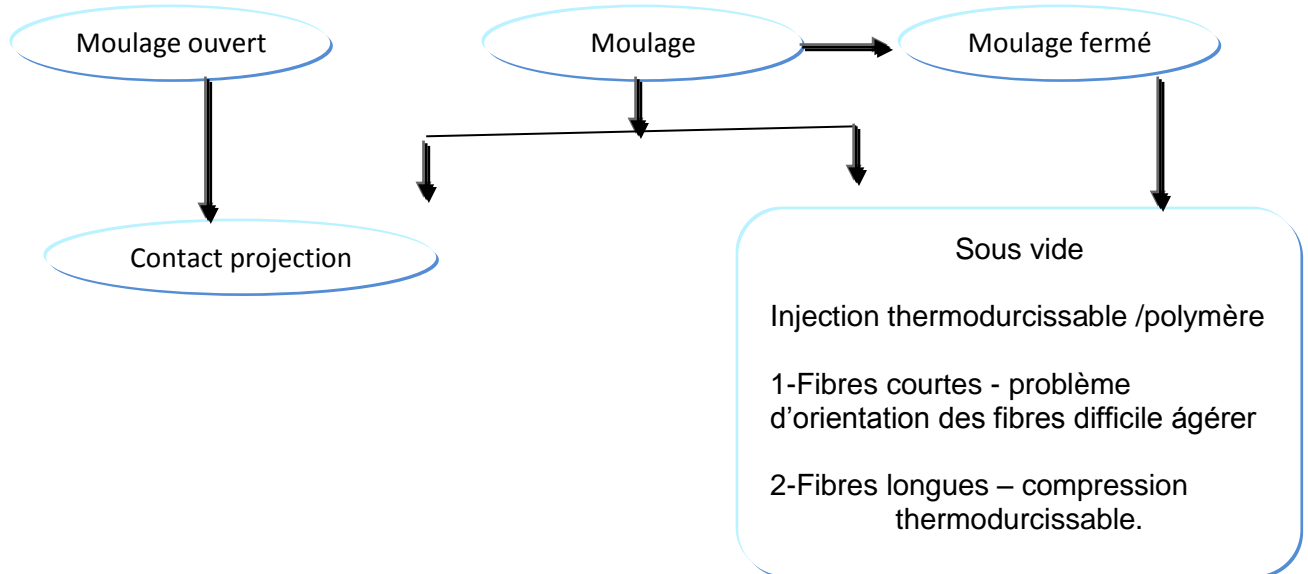


FIG I.8 :Technique de moulage

I.5.1-Moulage au contact

Consiste à disposition successivement sur un moule :

- Un agent de démoulage ;
- Un gel coat ;
- Une couche de résines thermodurcissable liquide. et à réaliser l'imprégnation du renfort par une opération manuelle à l'aide d'un rouleau.

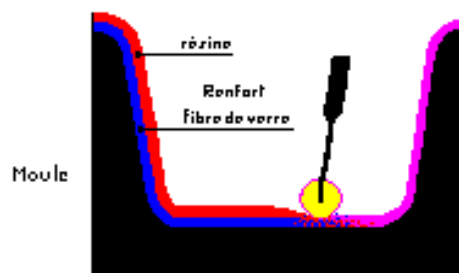


FIG I.9 : Moulage au contact

I.5.2 -Moulage par projection simultanée

Il est une évolution de procédé de moulage au contact et est particulièrement adaptée aux pièces de moyennes et grandes dimensions.



FIG I.10 :Moulage par projection simultanée

I.5.3- Injection thermodurcissable BMC

Les renforts sont mis en place entre le moule et le contre moule. La résine est injectée. La pression de moulage est faible.

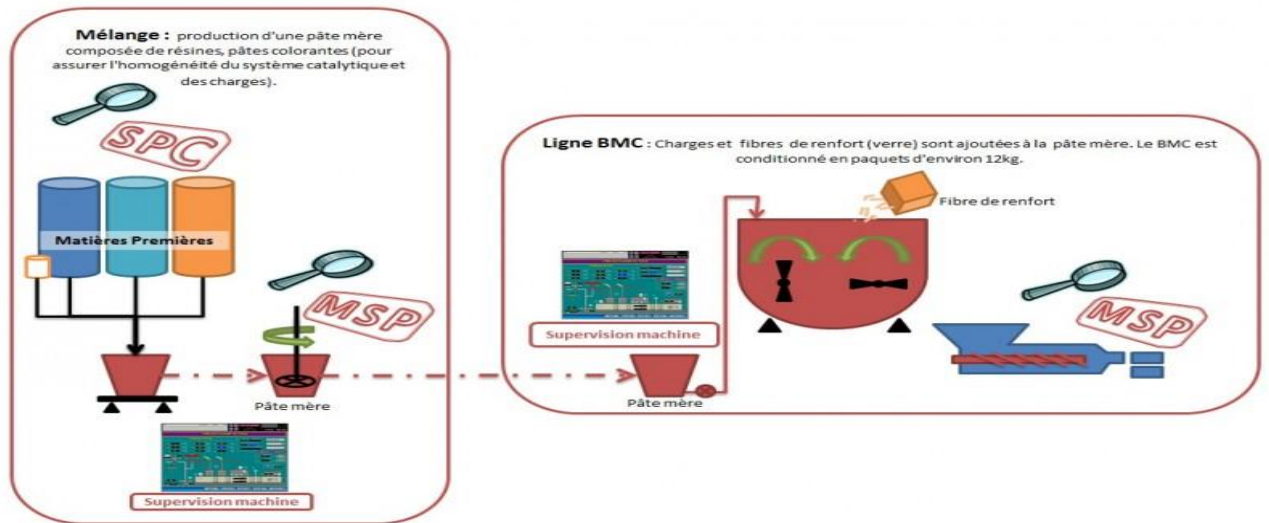


FIG I.11:Injection thermodurcissable BMC

I.5.4.Compression thermodurcissable

Il s'agit de moulage par compression et les moules sont très proches, par leur conception,de ceux utilisés lors de la mise en œuvre d'autres matières thermodurcissables.

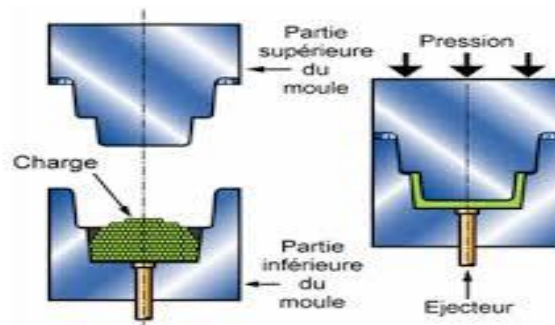


FIG I.12 : Compression thermodurcissable

I.5.5.Pultrusion

Dans ce cas, les renforts passent dans un bain de résine catalysé où sont imprégnés. Ils traversent ensuite une filière chauffée dans laquelle ont lieu simultanément mise en forme du profilé et

polymérisation de la résine. Ce procédé est applicable aux résines thermoplastiques et thermodurcissables.

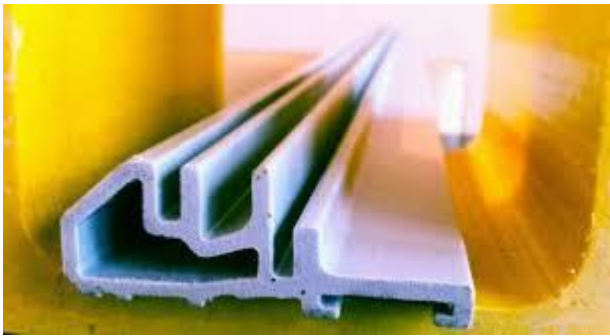
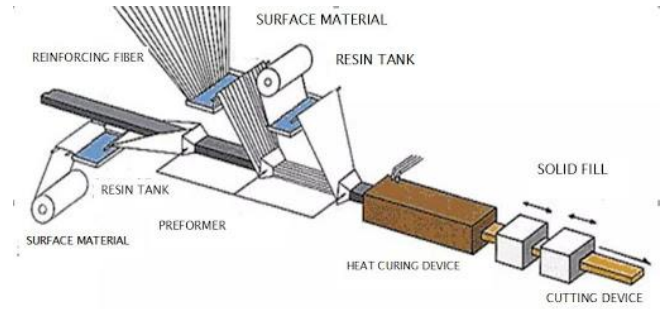


FIG I.14: La pultrusion des matériaux composites



Pultrusion process flow chart

FIG I.13 :Procédé de pultrusion

I.5.6. Enroulement filamentaire (ou bobinage)

Le renfort imprégné de résine catalysée est enroulé avec une légère tension, sur un mandrin cylindrique ou de révolution en rotation. Ce type de moulage est bien adapté aux surfaces cylindriques et sphériques, et permet une conception avancée des pièces.



FIG I.15 :Enroulement filamentaire (ou bobinage)

I.6 -Matériaux composites en Génie Civil

Depuis longtemps, l'homme a cherché à se protéger dans un bâtiment. Pendant des siècles, sa sécurité dépendait de protection dures, massives donc lourdes. La notion de constructions légères et souples ne date que de quelques décennies.

Dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme, le principal frein à l'utilisation des matériaux composites nouveaux est la difficulté de la caractérisation structurelle et le manque de schémas permettant de prévoir le comportement ultérieur des structures. Les applications des matériaux nouveaux sont donc limitées à des fonctions non porteuses (protection anti-usure, anti-corrosion, remplissage), ou à des éléments à sollicitations simples (tubes, tuyaux, réservoirs). Une bonne connaissance des lois de

comportement autoriserait des utilisations dans des formes à fonction porteuse (couverture, dalle de grande portée par exemple).

Le béton de ciment est lourd, on utilise une grande partie de sa résistance à porter son poids propre; il a un temps de prise très long et il est très peu résistant à la traction. Au contraire, les résines sont des matières d'assemblage aux excellentes propriétés mécaniques capables de transmettre les efforts de traction et de cisaillement. Suivant la nature du liant synthétique, les résistances à la compression peuvent atteindre 3 à 4 fois plus élevées que celles d'un béton à liant de ciment.

De façon générale, les bétons de résine résistent bien à l'action des produits chimiques et autres agents corrosifs, absorbent très peu l'eau, résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel - dégel. En outre, ils ont une plus grande résistance mécanique à la traction que le béton de ciment Portland.

L'utilisation des matériaux composites dans les industries de la construction et du génie civil présente de nombreuses opportunités, ils offrent des performances supérieures aux matériaux traditionnellement utilisés tel que l'acier notamment en terme de rigidité, de résistance à la traction, à la fatigue et à la corrosion.

D'une manière générale, les matériaux composites du type polymère renforcé de fibres «PRF» présentent des avantages considérables dès qu'il s'agit de la protection, la réparation et le renforcement d'ouvrages ou d'éléments d'ouvrages en béton armé tels que poutre, poteau, dalle ou mur.

L'utilisation des composites en génie civil aujourd'hui est très répandue. Ces matériaux trouvent des applications dans le renforcement des structures d'isolation acoustique, panneaux rigides et matelas souples pour protéger les murs et les plafonds ; on les retrouve également aux placettes, piscine et aux parvis,...etc. (FIG I.18)

Les composites de lin se positionnent pour répondre à la demande croissante des consommateurs attentifs aux qualités environnementales dans le domaine de l'aménagement on peut citer:

- ✓ Dalles de sol intérieur & extérieur
- ✓ Sanitaires
- ✓ Decking Terrasse
- ✓ Profilés de fenêtres
- ✓ Interrupteurs et goulotte sine
- ✓ Tuyaux (FIG I.16)
- ✓ Réservoirs (FIG I.17)



FIG I.16 :Tuyaux en composite



FIG I.17 :Réservoirs en composites



FIG I.18 :Clôture En composite

I.7. Matériaux composites en Bétons Polymères

On distingue deux grandes classes de matériaux composites à matrices polymères et on constate la diversité de leurs usages pour la construction

I.7.1-Intérêt des composites à matrices polymères pour la construction[11]

Un matériau composite est l'association de charges ou sous-structures (souvent minérales) avec des matrices polymères qui sont : thermodurcissables ou thermoplastiques. Les principaux avantages des composites, déjà largement utilisés pour le développement industriel, par exemple dans l'automobile, l'aéronautique ou encore la robotique, sont la facilité de transformation, la résistance et la rigidité qui permettent de réduire le poids propre des ouvrages pour une résistance donnée. Ils présentent aussi de bonnes propriétés de durabilité au sens traditionnel du terme, à savoir une forte résistance à la corrosion et des propriétés physiques particulières comme celles de pouvoir être amagnétiques ou thermiquement isolants. Les matériaux composites sont recherchés pour la construction dans deux domaines différents : les matériaux d'enveloppe – ce qu'on appelle le second œuvre – et les matériaux structuraux (ossature) chargés de supporter les efforts pour la tenue du bâtiment et son exploitation.

On les classe en matériaux composites « souples » d'une part et « rigides » d'autre part.

I.8 -Conclusion

Le domaine d'utilisation des matériaux composites est devenue très vastes à cause de la disponibilité de la matière première et leur coût qui était moins cher et à cause de leurs natures différentes, dont les propriétés, complémentaires, augmentent les performances de l'ensemble.

En particulier, l'utilisation des matériaux composites dans le domaine de génie civile est devenue très important, surtout dans la réhabilitation des constructions et des projets d'arts, même aussi ils offrent une résistance comparable, voire parfois supérieure à celle des alliages métalliques, tout en étant plus légers., Ils offrent également au bâtiment une grande liberté de mise en forme , en conséquence ils permettent également de mieux protéger les bâtiments contre les agressions extérieures ; notamment les composites renforcés de fibres de carbone sont leaders à la résistance aux séismes.

L'évolution continue de l'innovation des matériaux composites dans le domaine de génie civile, ils élargissent considérablement la capacité de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs, ils nous conduisent de produire des bétons polymère qui satisfait les besoins actuels des industries. Ces derniers font l'objet du deuxième chapitre.

CHAPITRE II
Généralité sur le béton Polymère

II.1- Introduction

Le béton polymère (BP) est un matériau obtenu en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. La recherche et le développement des bétons et mortiers polymères ont connu un grand essor dans différents pays occidentaux depuis les années 1980 [12]. Comme le remplacement du ciment Portland par un polymère entraîne une augmentation sensible du coût du béton, il ne faudrait le faire que si l'on recherche des caractéristiques supérieures, si le coût de la main d'œuvre est moins élevé ou si les besoins en énergie lors de la fabrication et de la mise en œuvre sont moindres. Actuellement, le BP est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles, pour la fabrication des carreaux de planchers en marbre synthétique et les panneaux d'escaliers, des plaques et panneaux de parements de diverses structures, d'appuis de fenêtre [13].

Pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques et permettre une bonne durabilité des bétons de résine renforcés ou non tout en satisfaisant les exigences économiques qui se rapportent au coût du produit fini, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'optimisation de la formulation du BP par la diminution de la fraction massique de la résine et/ou par le remplacement ou l'ajout d'une partie du squelette granulaire par d'autres composantes, conférant aux bétons des qualités meilleures en abaissant le prix du matériau du produit fini [14, 15].

Finalement, il est utile de faire une comparaison entre le béton polymère et le béton de ciment. Nous avons également donné une idée sur les pavés de résine et leurs utilisations. Ces derniers font l'objet de notre application.

II.1. Béton polymère

II.2.1. Définition

Le béton polymère est la dernière innovation dans le domaine des bétons décoratifs, en l'appliquant à une épaisseur de 20 mm sur tout type de surface, en particulier sur les clôtures, les socles, les escaliers, etc. est un matériau résolument moderne à base de sables de quartz liés à une résine polyester de haute qualité.

Le béton polymère est constitué de charges minérales (granulat, sable,...) et d'un liant en polymère. On l'appelle aussi béton de résine synthétique ou béton de résine plastique [16]. La légèreté de ce matériau facilite énormément sa mise en chantier et la présence de résine réduit l'absorption d'eau et garantit ainsi sa complète étanchéité. Ces matériaux résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel-dégel. En outre, comme ils ont une plus grande résistance mécanique que le béton de ciment portland, ils permettent d'économiser jusqu'à 50% de matériau [16]. Ainsi, pour certaines applications spécifiques, ils concurrencent le béton conventionnel. La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent essentiellement de la nature du polymère utilisé et de la quantité de charge. Lorsque la charge est du sable, le composite obtenu est appelé mortier de résine (**FIG II.1**).

Parmi les autres matériaux de charge, on trouve: la pierre concassée, le gravier, le calcaire, la craie[17].

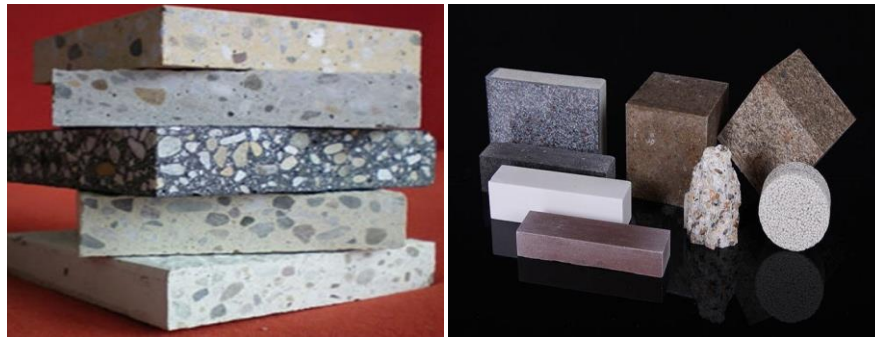


FIG II.1 : Béton polymère

II.2.2.Composition principale d'un béton polymère

Le béton de résine est formé par un squelette granulaire (les agrégats) et un liant polymère parfois thermoplastique mais dans la plupart des cas thermodurcissable.[18]

a) Liant

Les bétons polymères sont constitués d'un liant entièrement organique qui est appelé la **résine**, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable, il y a les époxydes et les polyesters insaturés qui caractérisé par un temps de durcissement très courts, donc le temps de malléabilité varie en fonction des résines, de la quantité de durcisseur et d'accélérateur. Les époxydes et les polyesters insaturés sont les thermodurcissables les plus utilisés pour la fabrication d'un béton polymère [19]. Il est important de bien situer les différences fondamentales de ces deux types de matrices.

- La structure des TP se présente sous forme de chaînes linéaires, il faut les chauffer pour les mettre en forme (les chaînes se plient alors), et les refroidir pour les fixer (les chaînes se bloquent). Cette opération est réversible.

- La structure des TD a la forme d'un réseau tridimensionnel qui se pont (double liaison de polymérisation) pour durcir en forme de façon définitive, lors d'un échauffement. La transformation est donc irréversible.

b) Agrégats

Les agrégats forment le squelette du béton et ils jouent donc un rôle très important dans la composition et la fabrication des bétons en général et le béton de résine en particulier. Ils influent les propriétés mécaniques et physiques du produit fini.

Les agrégats utilisés dans la plupart des cas sont des sables de quartz de granulométrie différentes. Le sable (0,1 à 0,7 mm) est considéré comme des agrégats à granulométries supérieures tandis que la farine (0,1 à 0,3 mm) et les particules encore plus petites (< 0,1 mm) sont considérées comme des agrégats fins. Le bon choix des agrégats entraîne une augmentation du module d'élasticité, de la résistance en flexion et en compression ainsi que de la dureté[19].

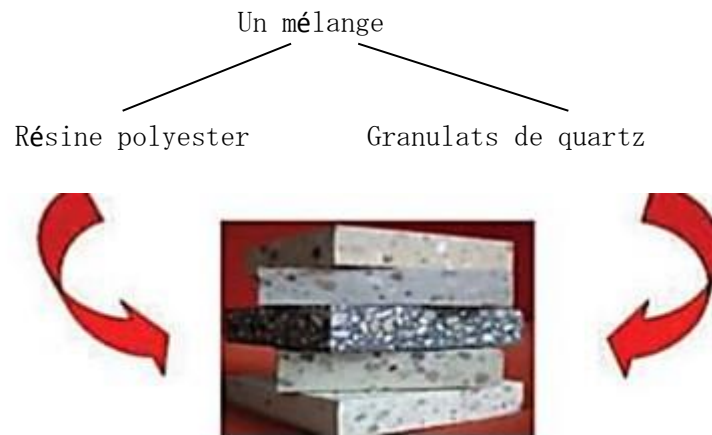


FIG II.2 : Composition du béton polymère [19]

II.2.3 Structures des polymères

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés[21]. Le plus souvent, ils sont amorphes, parfois ils peuvent être partiellement, cristallisés.

a) Polymères linéaires

Ces polymères sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide. La (FIG II.3) donne différents exemples de polymères linéaires.

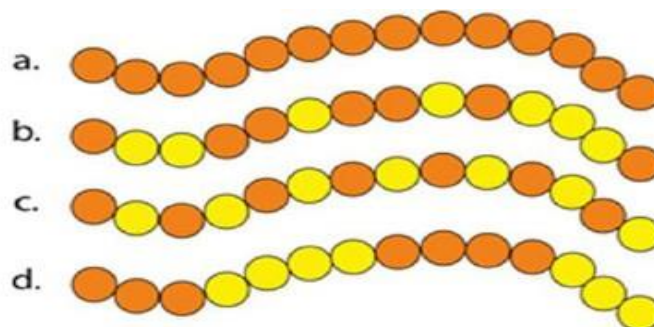


FIG II.3 : Représentation schématique de polymères linéaires [21].

a : homopolymère ; **b :** copolymère statistique ; **c :** copolymère alterné ; **d :** copolymère

b) Polymères ramifiés

Des chaînes homopolymériques ou copolymériques peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront un comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires. La (FIG II.4) montre les différents types de polymères ramifiés.

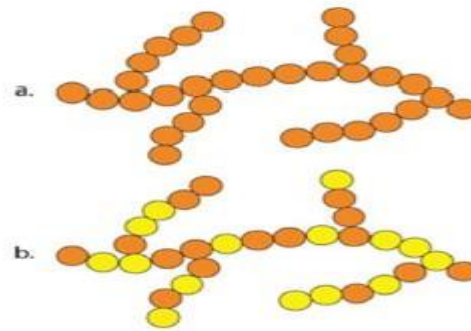


FIG II.4 : Représentation schématique de polymères ramifiés

(a: Homopolymère ramifié et b : copolymère ramifié)

c) Polymères réticulés

La réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant les différentes directions de l'espace au cours d'une polymérisation, d'une polycondensation ou d'une polyaddition, et qui conduit à la formation d'un réseau (FIG II.5).

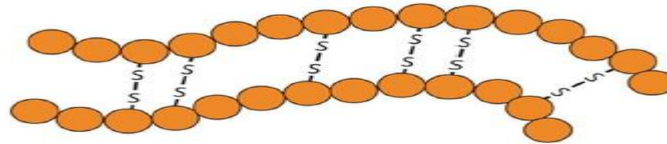


FIG II.5 : Représentation schématique de polymères réticulés [21]

d) Polymères amorphes et polymères cristallisés

En fonction de la structure physique des polymères, on peut les classer en trois types d'état [21].

- **l'état amorphe**, dans lequel les arrangements moléculaires n'ont pas d'ordre prédéfini. Cette absence d'ordre engendre une absence de point de fusion, l'existence d'une température de transition vitreuse qui marque le passage d'un état vitreux (où le matériau se comporte comme un verre, c'est-à-dire dur et cassant) à un état caoutchouteux (où les chaînes peuvent glisser plus facilement), ainsi qu'une transparence dans le visible comme cela est le cas du polystyrène « cristal » ou du poly (chlorure de vinyle) « cristal » qui sont tous deux amorphes.

- **l'état cristallin**, caractérisé par un arrangement organisé des molécules. Les chaînes s'organisent de façon ordonnée et compacte. Le polymère est décrit par son réseau et son motif. Les principales caractéristiques de l'état cristallin sont une compacité supérieure à celle de la phase amorphe, l'existence d'un point de fusion et l'absence de transition vitreuse, une rigidité supérieure à celle de la phase amorphe.

- **L'état semi cristallin** constitué de phases cristallines et de phases amorphes du même polymère. Leur microstructure est souvent complexe et, en conséquence, la description de leurs propriétés aussi. Leurs propriétés mécaniques sont généralement élevées. Ces trois états sont représentées sur (la FIG II.6).

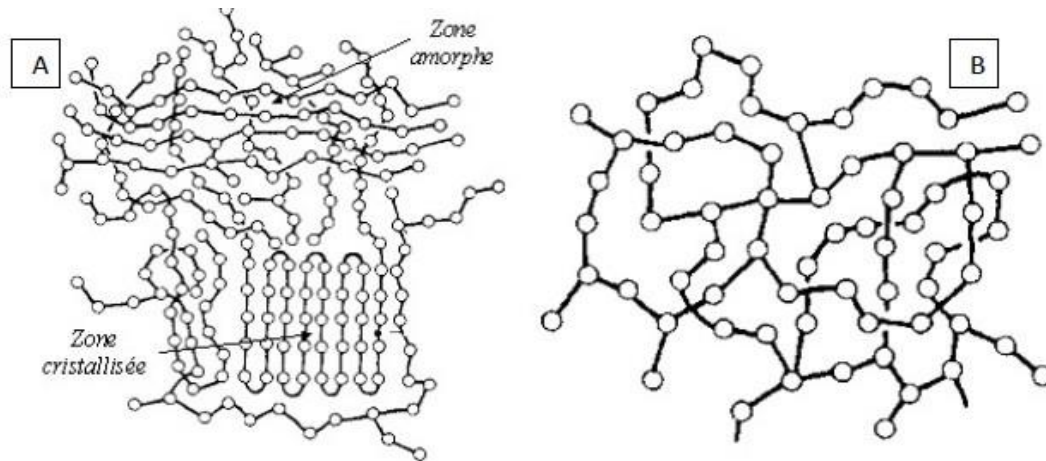


FIG II.6 : Structure des polymères. [21]

(A : amorphe partiellement cristallisé et B : fortement réticulé par de nombreux ponts covalents interchaînes).

II.2.4. Caractéristiques des bétons polymères

II.2.4.1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère

Le béton polymère représenté les caractéristiques suivantes :

- Valeur de compression d'un béton polymère: 80 – 90 MPa.
- Valeur de flexion par traction d'un béton polymère : 20 – 24 MPa .
- Module d'Young d'un béton polymère: 21 300 MPa.
- Abrasion : 1,15.

II.2.4.2. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère

- Résistance totale aux agressions des effluents sans aucun traitement : résistance du pH 1 à 14
- Résistance totale à l'H₂S ainsi qu'aux produits chimiques ;
- Résistance aux hydrocarbures aux huiles, au vieillissement naturel, aux UV et est peu sensible à l'humidité.) [22].

II.2.4.3. Caractéristiques physiques d'un béton polymère

- Absorption d'eau : 0,2 %.
- Coefficient d'écoulement : 108 moyens.
- Résistance au gel : Inaltéré.
- Densité : 2,1-2,3.(g cm⁻³)
- Microporosité d'un béton polymère : 25 µm.
- Module d'élasticité 20 – 34 kN/mm².
- Dureté Vickers, superficielle 320 N/mm

II.2.4.4. Caractéristiques hydrauliques

- Excellent coefficient d'écoulement (offrant un matériau auto curant et del'ouvrage).
- Totale étanchéité dans la masse grâce à la très faible porosité de surface du béton polymère.

- Excellente tenue à l'abrasion (coefficient d'abrasion permettant de conserver les qualités hydrauliques des ouvrages durant des décennies).

II.2.5 - Propriétés de béton polymère

Les propriétés viscoélastiques du liant polymère sont responsables du taux élevé de fluage du béton de résine, ce qui restreint quelque fois son utilisation dans la construction de charpentes. Le taux de déformation du béton de résine varie selon le type d'une grande variété de bétons à base polymère parmi lesquelles on trouve : le béton de polyester, le béton d'époxy, le béton de résine furanique. Le mécaniques des différents bétons polymère. [23]

Tableau. II.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de ciment

Type de liant	Polyméthacrylate de méthyle ??	Polyester,	Epoxyde	Résine furanique	Béton de ciment
Absorption d'eau (%)	0,05-0,60	0,30-1,0	0,02-1,0	0,20	5-8
Résistance en compression (MPa)	70-210	50-150	50-150	48-64	13-35
Résistance en traction (MPa)	9-11	8-25	14-25	7-8	1,3-3,5
Résistance en flexion (MPa)	30-35	15-45	15-50	-	2-8
E (GPa)	35-40	20-40	20-40	-	20-30
Coefficient De poisson V	0,22-0,33	0,16-0,30	0,30	-	0,15-0,20
Coefficient de dilatation thermique ($10^{-6} C^{-1}$)	10-19	10-30	10-35	38-61	10-12

II.2.6 - Principaux avantages et les inconvénients du béton polymère

II.2.6.1- Avantages d'un béton polymère

- Une bonne résistance aux agents chimiques et aux agents corrosifs ;
- Une plus faible perméabilité à l'eau et une bonne résistance aux cycles de gel-dégel;
- Un faible coefficient de dilatation thermique ;
- Un durcissement rapide ;
- Une bonne adhésion aux granulats et aux bétons anciens ;
- Des résistances mécaniques meilleures que celles des bétons hydrauliques.
- Une bonne résistance à l'abrasion ;
- Une excellente durabilité avec un coût raisonnable ;

II.2.6.2 - Inconvénients d'un béton polymère

- Le cout de la matière première (principalement le liant) est plus élevé (jusqu'à 8 fois) comparé à celui des bétons hydrauliques.
- Ces bétons se caractérisent par une mauvaise odeur et une toxicité provenant de la partie liante du matériau c'est-à-dire la résine et le durcisseur pendant le malaxage et la mise en œuvre

II.3 - Résines thermoplastiques (TP)

les résines thermoplastiques sont des composés, dérivés d'éléments constitutifs organiques se formant naturellement, qui fondent lorsqu'on les chauffe. Elles présentent une structure linéaire (ou légèrement ramifiée) enchevêtrée qui ne résulte pas d'une polymérisation. Ce sont des matières «transformables à l'état fondu », ce qui signifie qu'on peut leur donner des formes utilisables lorsqu'elles sont en phase liquide (fondues) ou visqueuse. Dans la plupart des procédés de fabrication, les thermoplastiques sont chauffés, puis formés par moulage par injection, extrusion ou thermoformage, avant d'être refroidis afin que le produit fini conserve sa forme.

Les polymères utilisés sont essentiellement des thermoplastiques techniques qui présentent à l'état vierge de bonnes caractéristiques mécaniques. Un renforcement à l'aide des fibres courtes leur confère une tenue thermique et mécanique améliorée et une bonne stabilité dimensionnelle, sont des matrices réversibles.

En fonction de la polymérisation on obtient différents produits qui sont :

- les PVC (Chlorure de Polyvinyle),
- les polyéthylènes,
- les polystyrènes
- les polypropylènes

La (FIG II.7) résume le mode de fabrication des principaux thermoplastiques.[27]

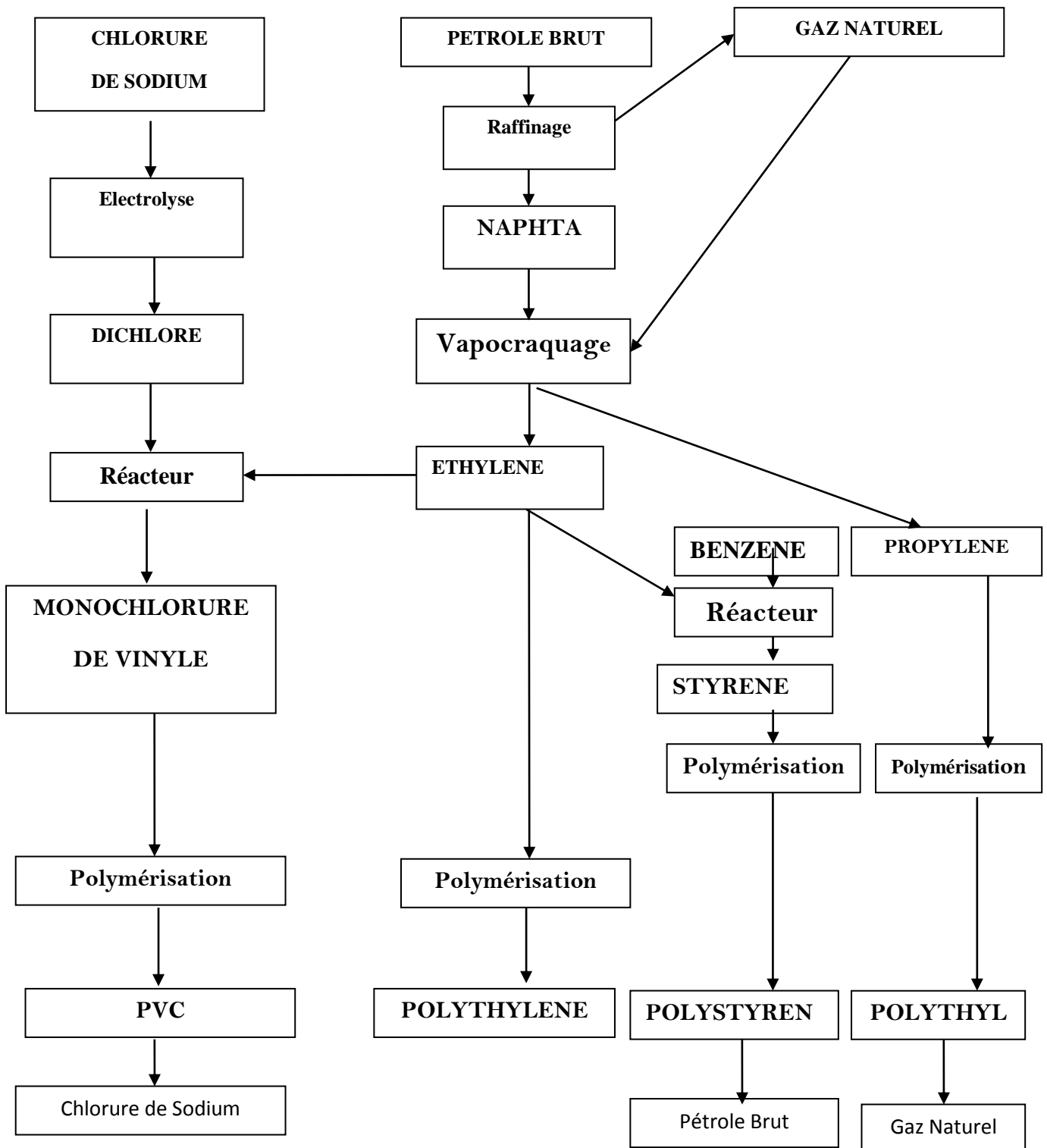


FIG II.7 :Mode de fabrication des principaux thermoplastiques

II.4 - Béton polymère à base résines thermoplastique

Matériau composite possédant au moins une face externe de polymère thermodurcissable et une couche de polymère thermoplastique allégé caractérisé en ce que les deux polymères sont unis l'un à l'autre sur toute leur interface au moyen d'un monomère diluant la résine thermodurcissable et solvant du polymère allégé dont la matière de surface externe à unir possède une masse volumique voisine de celle de la composition de base ayant servi à sa fabrication, monomère qui lors de la réticulation de la résine thermodurcissable provoque par sa polymérisation un alliage étroit de toute l'interface des deux polymères à unir.

II.4.1-Propriétés mécaniques des polymères thermoplastiques

Les résistances mécaniques sont variables suivant la composition chimique. Dans l'ensemble les polymères sont souvent plus résistants et plus légers que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions. La résistance à la traction et à la compression ainsi que la dureté dépendent essentiellement de la nature et de la cohésion entre les chaînes de polymères.

La résistance au choc est liée non seulement à la cohésion intermoléculaire, mais aussi à la dissipation de l'énergie dans le matériau: un plastique mou est moins cassant qu'un plastique dur.

Quelques résistances des plastiques usuels sont résumées dans le (tableau II.2) suivant .[25]

Tableau II. 2 : Quelques propriétés des polymères thermoplastiques

Polymères		Densité (g/cm ³)	Température de fusion (°C)	Résistance compression (MPa)	Limite d'élasticité (MPa)	Module de Young (GPa)	Allongement à la rupture (%)
Thermoplastiques	polyéthylène haute densité (PEHD)	0.94 à 0.95	200	15 à 23	25	1	50
	polyéthylène basse densité (PEBD)	0.90 à 0.93	120 à 170	7 à 10	15	0.2	500
	polychlorure de vinyle (PVC)	1.4	125	20 à 50	40	2 à 3	20 à 70
	polyéthylène téréphtalate (PET)	1.34	200 à 255	12 à 15	20	2.7 à 4.1	40
	poly styrène (PS)	1.04	160	10 à 30	15	2.3 à 4.1	3
	poly propylène (PP)	0.90	165	12 à 35	15	1.3	20

II.4.2- Recyclabilité : le vrai plus des composites thermoplastiques

Les composites thermodurs durcissent définitivement grâce à un mécanisme de réticulation. Ils ne sont donc ni réutilisables, ni recyclables.

Les composites thermoplastiques apportent de vraies réponses pour pallier ces limites, étant:

- a) **Thermoformables et thermosoudables** : la matière thermoplastique ramollit lorsque les pièces composites sont chauffées. Celles-ci peuvent être alors façonnées ou soudées (un procédé facile à maîtriser, évitant le recours aux colles).
- b) **recyclables** : il est possible de récupérer et de réutiliser la matière en la faisant fondre.

II.4.3 -Solidité d'un polymère à base résines thermoplastiques

Pour relever le défi des composites thermodurs qui ne peuvent ni refondus ni recyclés, les industries ont développé la seule résine thermoplastique liquide sur le marché qui se met en œuvre comme une résine liquide thermodure, avec les mêmes procédés de fabrication : les pièces obtenues ont des propriétés mécaniques identiques à celles des pièces thermodures, mais présentent l'avantage d'être thermoformables, thermosoudables et entièrement recyclables.

Habitacles de voitures, pièces des structure et de carrosseries, capots, coques ou flotteurs de voilier et même pales d'éolienne: cette nouvelle résine va révolutionner la filière des composites dans les prochaines années.

Les principales résines thermoplastiques sont à base de polyamide, polyéthylène, polycarbonate et polychlorure de vinyle (PVC), le polypropylène (PP), etc. on prend comme un choix de notre étude le polyéthylène.

II.4.4 - Polyéthylènes

II.4.4.1 -Définition

Le polyéthylène est un matériau thermoplastique de la famille de polyoléfines contenant uniquement des carbones hybridés de types sp³ [16]. Sa molécule se présente sous forme de chaînes contenant 1000 à 2000 monomères. La formule chimique du polyéthylène est:



Partiellement cristallin, le polyéthylène contient deux phases:

- Une zone amorphe dans laquelle les chaînes sont disposées de manière désordonnée.
- Une zone cristalline dans laquelle les chaînes sont disposées de manière ordonnée ; formant ainsi des cristallites. Les chaînes dans les zones cristallines se regroupent sous forme de lamelles (fibrilles lamellaires) de quelques centaines d'Angströms. Ces lamelles sont typiquement arrangées comme des sphérolites (FIG II.8).

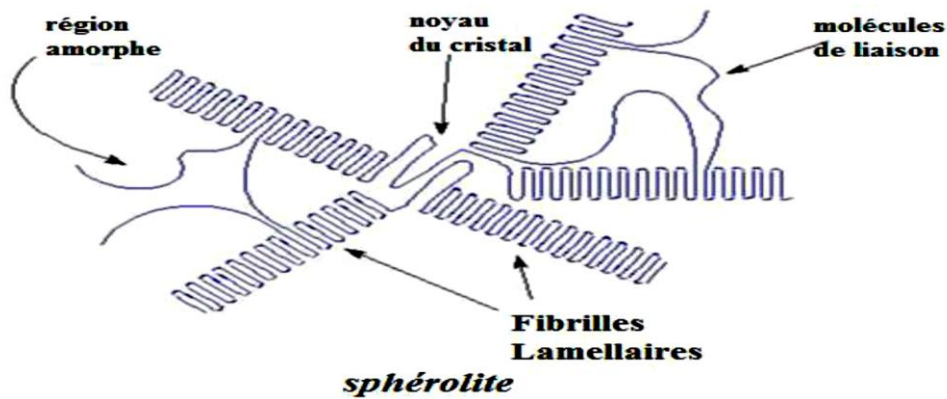


FIG II.8 : Sphérolite

II.4.4.2 Différents types de polyéthylènes

Les PE (polyéthylène) font partie des thermoplastiques, c'est-à-dire qu'ils ont des propriétés qui leur confèrent une malléabilité à chaud et une thermoplasticité réversible. Mais ils sont de natures différentes selon les modes de polymérisation:

- A partir d'un procédé à haute pression, on obtient un polymère très ramifié appelé le polyéthylène basse densité PEHD (il contient deux types principaux : le polyéthylène basse densité linéaire PEBDL et polyéthylène basse densité ramifié PEBDr).
- A l'inverse on utilise un procédé à basse pression pour obtenir le polyéthylène haute densité PEHD.

Il existe par ailleurs un autre type de PE, le PEMD (moyenne densité) ; mais c'est en réalité un intermédiaire entre des deux formes et n'a pas de caractéristique particulière ou intéressante qui mérite d'être développée [26].

II.4.4.3 Méthode de fabrication du polyéthylène

Parmi les polymères semi-cristallins, Le polyéthylène est l'élément le plus utilisé.

Tableau II.3 : Caractéristiques majeurs des différentes familles des polyéthylènes.

Type de polyéthylène	Masse volumique (g/cm ³)	Taux cristallinité (%)	Température de fusion (°c)	Température de transition vitreuse (°c)	Module d'Young en traction (MPa)
PEBD	0.915 - 0.935	41 - 58	95 - 117	-133 à -103	120 - 135
PEMD	0.930 - 0.945	55 - 65	125 - 130	-	350 - 800
PEHD	0.945 - 0.970	65 - 80	130 - 138	-120	800- 1300

II.4.4.4 Propriétés des polyéthylènes hautes densité

a) Propriétés physique

La différence entre le PEHD et le PEBD est le point de ramollissement, puisqu'il se situe au-dessus du point d'ébullition de l'eau pour l'un et au-dessous pour l'autre. Les articles fabriqués, avec le polyéthylène de haute densité, peuvent ainsi être stérilisés à la vapeur.

b) Propriétés chimiques

Le polyéthylène possède une très bonne stabilité chimique : Inattaquable par les acides (sauf les oxydants), par les solutions de sels

- Résistants aux solvants organiques au-dessus de 80°C
- Pratiquement insoluble, à des températures inférieures à 60 °C
- Sensible à la fissuration sous contrainte en présence de savon, alcools, détergents ;
- refroidit lentement et plus cristallin et moins perméable aux solvants.

c) Propriétés électriques

Le PE présente d'excellentes propriétés d'isolation électrique quelles que soient sa masse moléculaire et sa cristallinité. Sa faible permittivité relative et son faible facteur de dissipation diélectrique font de lui un matériau de choix en isolation électrique [27].

d) Propriétés thermiques

En l'absence de contrainte, le polyéthylène haut densité peut supporter une température de 110 à 120°C (stérilisation par exemple). Ce comportement est caractérisé par la température de ramollissement Vicat (1kg) ou par la température de fléchissement sous charge qui augmente avec le taux de cristallinité ou le niveau de réticulation.

e) Propriétés mécaniques

A 23°C, les matériaux semi-cristallins sont au-dessus de leur température de transition vitreuse (environ – 120°C) ; leur phase amorphe est caoutchouteuse, ce qui affecte leurs propriétés mécaniques (tableau II. 4)

Tableau II.4 : Propriétés mécaniques du PEHD

Propriétés	Unité	PEHD
Masse volumique	(g/cm ³)	0.945 - 0.970
Contrainte au seuil d'écoulement (traction)	MPa	26-34
Contrainte à la rupture	MPa	26-40
Allongement rupture	%	20 - 1000
Module d'élasticité (traction)	MPa	800 - 1300
Dureté de shore D	/	63 - 67

II. 4.4.5 Domaines d'application du PEHD

Le PEHD doit répondre à plusieurs applications aux usages très variés et qui sont :

- **Films :**
 - La sacherie
 - L'industrie : les emballages, films pour la construction
 - L'hygiène : couches-bébés
 - L'agriculture : serres, tunnels...
- **Objets moulés :** Dans le domaine des objets moulés, le polyéthylène haute densité s'est développé dans le secteur industriel : manutention, eaux, bouchonnage, et dans les applications techniques telles que le mobilier urbain.
- **Extrusion-soufflage :** Le domaine de l'extrusion-soufflage est réservé principalement au polyéthylène haute densité pour fabriquer des : bouteilles, flacons, bidon de lait, récipients pour lessive, détergents...
- **Tuyaux :** Dans l'application des tuyaux, le polyéthylène haute densité est employé pour la réalisation de tuyauteries de gaz, et pour les tuyaux sous pression, eau chaude (revêtement extérieure ALFAPIPE), chauffage par le sol.

II. 4.4.5.1 -Applications primaires des plastiques

- PEHD: polyéthylène haute densité

Applications à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, seaux, bouchons, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation, feuilles pour sacs à ordures ménagères, caisses à claire-voie.

II. 4.4.5 .2 - Applications secondaires après recyclage mécanique

Sacs à usage industriel, conteneurs de déchets, flacons pour produits de nettoyage ,couvercles, fûts, palettes, seaux, plaques, caisses à claire-voie, emballages et produits de remplacement du bois

II. 4.4.6 - Avantages et inconvénients du PEHD

a) Avantages mise en œuvre aisée.

- Excellentes propriétés d'isolation électrique.
- Résistance aux chocs.
- Grande inertie chimique.
- Qualité alimentaire.
- Perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, mais aussi à l'air et aux hydrocarbures.

b) . Inconvénients

- Sensibilité aux UV en présence d'oxygène.
- Sensibilité à la fissure sous contrainte.
- Mauvaise tenue à la chaleur.
- Collage important

II. 4.4.7 - Applications du béton polymère à base thermoplastique

Le béton polymère est utilisé pour de nombreux types de projets de construction spécialisés.

Comme d'autres types de béton, il peut être utilisé pour assembler deux composants différents ou de fournir une structure ou une base.

Le matériau est utilisé dans la construction électrique ou industrielle où le béton doit durer longtemps et être résistant à de nombreux types de corrosion. Notamment, dans les bâtiments domaine de génie civil, l'horticulture, les revêtements des chaussées et planchers, les travaux de drainage et hydrauliques, dans l'industrie.

II. 4.4.8 - Pavés

L'amélioration du cadre de vie et son intégration à l'environnement se sont traduites, pour les sols urbains ou domestiques, par une évolution aussi bien esthétique que fonctionnelle. Le sol n'est plus seulement une surface banalisée sur laquelle on marche ou on roule, c'est aujourd'hui un espace qui doit être beau par son aspect et sa couleur, tout en assurant durabilité et sécurité. Le béton coulé en place, ou manufacturé sous forme de pavés et de dalles, constitue une solution idéale par la variété de ses possibilités décoratives, techniques et économiques- pour la réalisation de sols très divers, allant du simple aménagement d'un jardin ou d'une terrasse à de vastes réalisations urbaines.

a) Types de pavés

On distingue trois types de pavés :

- ✓ Les pavés classiques de section carrée, rectangulaire ou hexagonale, généralement comprise entre 100 et 200 cm².
- ✓ Les pavés autobloquants à emboîtement : ils sont de forme telle qu'après mise en place, il y'ait liaison horizontale, dans une ou plusieurs directions, entre les éléments du dallage ainsi constitué.
- ✓ Les pavés autobloquants à emboîtement et épaulement : ils sont de forme telle qu'après mise en place, il y'ait liaison horizontale et verticale entre les éléments du dallage ainsi constitué.

b) Caractéristiques géométriques

Les pavés classiques usuels ont des sections carrées (10x10 ou 12 x12 cm²) ou rectangulaires (10x20 ou 12x24cm²). Pour les premiers, l'épaisseur est de 5 à 6 cm ; elle est de 6 à 7 cm pour les seconds.

Les pavés autobloquants ont généralement une forme s'inscrivant dans un rectangle dont la longueur est sensiblement le double de la largeur (22x11, 25x12.5cm) ; leur épaisseur est comprise entre 6 et 10 cm.

c) Domaines d'emploi

Les pavés et les dalles trouvent leurs applications généralement dans les espaces urbains. Autrement dit, ils ont un vaste champ d'application : allées, places, trottoirs, zones piétonnes. Ils peuvent être personnalisés et clairement délimités en jouant sur l'appareillage et les couleurs des matériaux. Dans les lotissements, les voies de desserte, les aires de stationnement, les espaces de jeux sont traités de façon esthétique et durable par les solutions béton. Les pavés et dalles de toutes natures sont bien adaptés au traitement des installations sportives, des stades, des espaces de plaisance, des piscines.

De nombreuses autres applications existent pour les pavés en béton, parmi lesquelles on peut citer également : Les espaces scolaires, cours, préaux, quais et les abords de ports de plaisance, Les pistes cyclables et les chemins de promenade, Les parkings privés ou collectifs, les aires de surface commerciales, Les sols industriels, Les aménagements de jardins et d'espaces verts privés ou publics, les terrasses.



FIG II.9 : Pavés en béton

d) Pavé à base de résines thermodurcissables

Les pavés en résine sont dédiés à la circulation routière et/ou piétonne. Ils constituent une nouvelle gamme de produits en provenance de la voirie. Ils représentent un mélange d'agrégats naturels assemblés entre eux avec une résine. Ces matériaux possèdent des caractéristiques antidérapantes et non gélives, c'est-à-dire qu'ils ne se fissurent pas avec le gel. Par ailleurs, ils présentent des coloris diversifiés pour s'associer à tout type d'environnement.

D'une façon nous pouvons dire que les pavés en résine est une alternative performante et innovante au pavé traditionnel qu'il l'imité correctement.

Pour aménager une **cour**, une **allée**, un **contour** de **piscine** ou encore une **terrasse**, on peut choisir les pavés en béton, en pierre ou le pavé décoratif comme les :

- ✓ pavés en résine ;
- ✓ pavé en terre cuite ;
- ✓ pavé lumineux ;
- ✓ pavé en verre ;
- ✓ pavé en bois ;
- ✓ pavé en gazon ;

Les pavés sont des produits industriels définis par la norme NF P98303. Ils font l'objet de la certification, Marque NF « Pavés en béton ».

e) Avantages des pavés en résine

Les avantages de ce revêtement de couverture sont nombreux par rapport aux inconvénients, mais voyons de plus près les caractéristiques qu'il détient et sa mise en œuvre.

Sa résistance mécanique à l'usure, au gel et à l'humidité, est assez exceptionnelle et sa mise en place est relativement facile, puisqu'il s'emboîte, un peu comme les pièces d'un puzzle.

II.5. Conclusion

L'étude théorique sur le béton polymère dans ce chapitre nous permet de reconnaître leurs caractéristiques supérieures et leurs avantages par rapport aux autres matériaux.

D'après ce qui est mentionné, on a constaté que l'utilisation vaste de BP dans tous les domaines de constructions et de fabrications est retournée à sa résistance élevée et sa légèreté, en conséquence des polymères de haute performance offrent des propriétés hors normes, aussi la résine thermoplastique rendue malléable à la chaleur ; elle peut donc être ramollie de manière répétée de sorte qu'elle peut être extrudée ou coulée dans un moule et qu'elle durcit à nouveau en refroidissant. Celle-ci peut être alors façonnée ou soudée.

Finalement, on a clôturé notre travail par le grand rôle des polymères thermoplastiques du côté esthétique à travers les pavés à base de résine.

CHAPITRE III
Carrières de sable dans la région du
M'sila

III.1- Introduction

L'objectif de notre étude est de proposer une méthode de recyclage des déchets plastiques par la conception de matériaux utilisables dans la construction. Les matières premières utilisées lors de cette étude sont : le plastique, le sable et des additifs. Les matériaux confectionnés, sont des pavés. Aussi, pour améliorer les propriétés de celles-ci, une charge additif est envisagée.

Le sable est un matériau qui est de plus en plus utilisé dans le secteur de l'habitat et de l'industrie, les besoins vont augmenter sans cesse, au rythme de développement du secteur de l'habitat et de l'industrie. Ce dernier participe grandement à l'alimentation de la wilaya de M'sila et des wilayas limitrophes, très demandé surtout pour le secteur d'urbanisme et des travaux publics.

Dans ce chapitre, une bibliographie sur le sable est faite afin d'avoir quelques informations sur sa formation et ses utilités dans la construction, un panorama des différentes sablières est présenté, les lois qui les régissent est également envisagée.

III. 2- différentes carrières de sable

II.2.1 - Définition

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation de roches sous l'action de divers agents (vent, eaux courantes, gel). C'est une matière première qui est souvent le produit de la décomposition du granite du fait de l'altération. Le sable peut avoir plusieurs couleurs en fonction de sa nature : noir ou blanc.

III.2.2 - Formation des sables

Le sable se forme à la suite de phénomènes physiques et chimiques auxquels sont soumises les roches. Les processus physiques fragmentent les roches en des éléments de taille réduite qui sont les blocs, les graviers, les sables, les limons et les argiles. Dans le processus de formation des sables l'action physique est prépondérante.

Sous l'action de processus physiques (vent, eau) ou chimiques (action dissolvante de l'eau), ces éléments sont entraînés par les eaux de ruissellement. Au cours du transport, ils vont subir des variations de taille et de morphologie en fonction du moyen de transport. Les particules vont se déposer ou être drainées généralement jusqu'à la mer. C'est ainsi que les sables se retrouvent sur les plages ou dans les lits des cours d'eau.[28]

III.2.3 - Composition minéralogique

Les sables sont principalement constitués de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée.

Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux.

III.2.4 - Classification des sables

III.2.4.1 - Classification suivant la nature du sédiment

Les sables sont classés suivant beaucoup de paramètres et suivant le domaine d'activité. Ainsi en géologie en fonction de la nature du matériel à l'origine de sa formation on parlera de sable détritiques (issus de roches préexistantes), ou de sables bioclastiques (issus de la fragmentation puis accumulation de squelettes ou coquilles d'organismes marins).

En géologie de l'ingénieur ou génie civil, on classe les sables en fonction de l'origine ou de la granulométrie.

III.2.4.2- Classification suivant l'origine

III.2.4.2.1 - Sable naturel

Il est le résultat d'une érosion (processus physique et chimique naturel par lequel le sol et les roches de la croûte terrestre sont continuellement soumis à une abrasion et à une corrosion) et d'une sédimentation (dépôt de sédiment) de différentes roches suivies d'un transport fluviale et parfois éolien [29].

Il s'agit de sable extrait des lits des cours d'eau (fleuves et rivières), des lacs ou de la mer .

(dans certains pays, même si de plus en plus l'exploitation de ce sable est interdite)

La nature de ce type de sable est déterminée par son degré de propreté. De ce fait connaître le degré de propreté d'un sable naturel, revient donc à définir la nature de ce dernier. Le degré de propreté d'un sable naturel se détermine grâce à un essai de laboratoire nommé « équivalent de sable ». En fonction des valeurs obtenues lors de cet essai il est possible de dire si le sable est :

- ✓ Argileux
- ✓ Légèrement argileux
- ✓ Propre (à faible pourcentage de fines argileuses)
- ✓ Très propre (absence quasi-total de fines argileuses)
- ✓

III.2.4.2.2 - Sable artificiel

Il s'agit de sable obtenu par concassage des roches. C'est le sable qui est directement lié à l'action de l'homme. Ce sont très souvent les sous produits des carrières de concassés de roches.

III.2.4.2.- Classification suivant la granulométrie

Dans ce type de classification, le critère principal est la taille des particules. La classe des sables varie selon le système de classification ou le domaine d'activité. Tous les systèmes de classification admettent principalement cinq (5) sous classes qui sont classées selon diamètre des grains:

- sable très fins (0,0625 à 0,125 mm)
- sable fin (0,125 à 0,25 mm),
- sable moyen (0,25 à 0,5 mm),
- sable grossier (0,5 à 1 mm),
- sable très grossier (1 à 2 mm).

III.2.5-Utilisation du sable

Le sable est l'une des matières premières dans la construction. Il constitue également la principale matière première de l'industrie du verre. Le sable, du fait de son abondance et de sa facilité d'exploitation, est utilisé dans de nombreux domaines d'activités. C'est l'une des principales matières premières utilisées dans le génie civil. Il est utilisé aussi bien dans le domaine routier que dans celui du bâtiment.

Dans la construction des routes, le sable est utilisé comme matière première de remblai, couche de base et couche de finition. Dans le bâtiment, il est employé dans la composition de béton, du mortier et la confection des briques (parpaing sable ciment). Le sable est le principal composant de la plate forme sur laquelle sont posés les pavés, pour les chemins et les routes secondaires, les parkings et les garages etc.

Le sable est encore très utilisé en fonderie, où il est employé pour la réalisation des moules. Par ailleurs, il intervient dans la fabrication de céramiques.

Le sable est également largement utilisé pour ses propriétés abrasives (cas du papier de verre recouvert de sable). Il peut aussi être utilisé pour un décapage à la sableuse afin de nettoyer certaines surfaces (la pierre, par exemple) ou pour aplanir des surfaces de métal grossier (avec de la vapeur sous pression chargée de sable).

En milieu naturel, le sable accumule des minéraux lourds alluvionnaires, permettant l'extraction de certains minéraux dont l'or, les diamants, la cassitérite (minerai d'étain), la magnétite (oxyde de fer) ou l'ilménite (oxyde de fer et de titane).

Le sable est un élément important dans le domaine touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte[28].

III.2.6 -Cordon dunaire

Le cordon dunaire est caractérisé par une fraction sédimentaire très riche en sable fin à très fin facilement remobilisable : plus de 90µm de diamètre. Cependant les dunes qui sont généralement des corps meubles et très pauvres en végétation constituent un domaine fragile susceptible de favoriser l'apparition et l'extension des processus morphogénétique des formations sableuses.

Le cordon dunaire dans la wilaya de M'sila couvre une superficie de 22500ha. Il s'étend de l'Est en Ouest sur une longueur d'environ 200 kilomètres. Il débute a partir dezahrez chergui, traverse la plaine de Medjedel, la plaine d'Eddis et celle de Bou Saâda pour aboutir enfin au sud du chott El Hodna.

Les villes et les villages situés sur le cordon dunaire et à proximité sont sérieusement menacés. L'exemple de la ville de Bou-Saâda et le village de Djebel Thameur représentent un exemple illustrant cette menace.

Le vent, en tant que paramètre générateur des formes, soulève les particules de sable et les redistribue le long de sa trajectoire sur des sites d'obstacles. Cette distribution anarchique et désorganisée crée des perturbations à l'échelle régionale et favorise les accumulations sableuses de plus en plus importantes. Parmi les sablières existants au niveau de Msila, on trouve les sablières de boussaada ,M'cif,SidiAmeur, El khoubana, Maarif...etc (**FIG III.1**) .

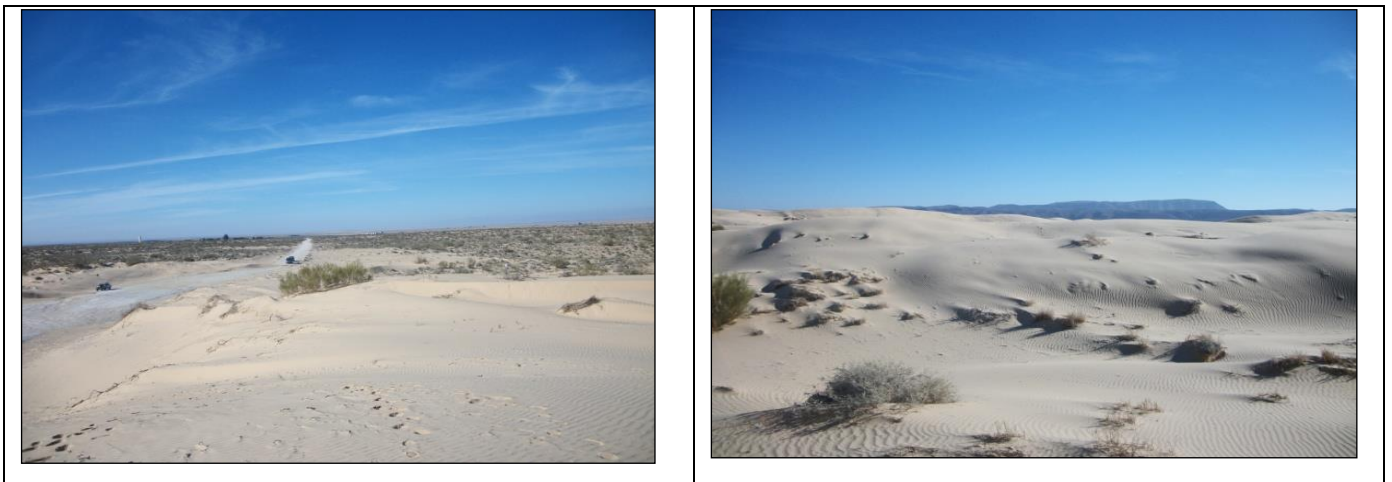


FIG III.1 : Quelques photos sur la sablière d'erg siouf de Khoubana.

Selon la direction de l'industrie et des mines de la wilaya de M'sila les sablières qui sont en activité sont donnée par le tableau **III.1** ci-dessous[30].

Tableau III.1 : Différents sablières en activité au niveau de M'sila

Titulaire	Substance	Lieu dit	Commune	Sup (Ha)	Obs
Sarl grande sablière	Sable	Bled sebaa	Bousaada	21	En activité
Sarl GA Lil Hassa		Erg siouf	khoubana	24	En activité
EPE ORGM(Ex Eurl GOLDIM)		Roumana	Bousaada	137,71	En activité
EURL Boutaleb		Nekbet el kebch	Bousaada	20	En activité
SARL ConcassabMaiter		Djelida	Bousaada	86	En activité
EURL MarmaletteMaarif		Sidi Ameer 4	Sidi Ameer	5	En activité
EURL Brimatec		Erg siouf	Khoubana	26	En activité
EURL Bouzag'za		DhayetDhouihba	Sidi Ameer	50	En activité
EURL Benyahya		DhayetDhouihba	Sidi Ameer	36	En activité

III.2.7- Cadre légal

Comme autres activités, les sablières sont considérées comme une installation classée dont la superficie exploitée est :

- Supérieure à 01hectare, soumise à Autorisation du Wali de M'sila et tenue de présenter une étude d'Impact sur l'Environnement (EIE).
- Inférieure ou égale à 1 hectare, soumise à Autorisation du président de l'APC est tenue de présenter une notice d'impact sur l'environnement associée d'un rapport sur les produits dangereux[31].

Les textes réglementaires qui régissent cette activité sont nombreux, nous avons choisi ceux les plus actuels.

- Loi 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé, modifiée et complétée.
- Loi no 90-29 du 1 décembre 1990, modifié et complété relative à l'aménagement et de l'urbanisme.
- Loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi no 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
- Loi no 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable à la prévention des risques majeurs.

- Loi no 08-03 du 23 janvier 2008 modifiant et complétant la loi no 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.

D'après la carte géologique d'Algérie illustrant la géologie de Hodna (FIG III.2) et ou chott el Hodna présente :

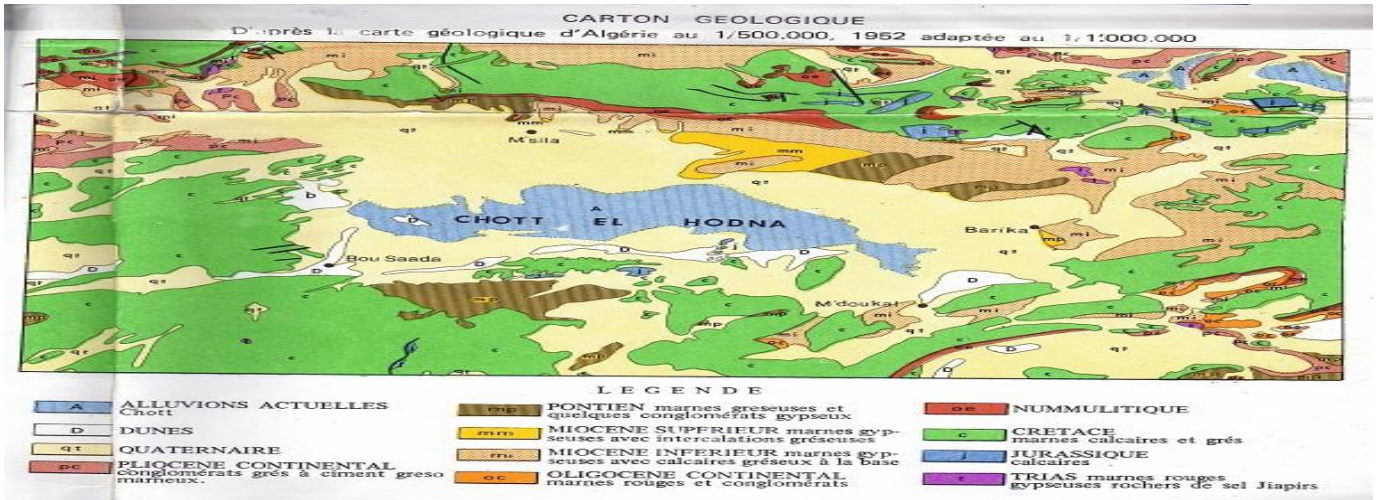


FIG III.2 : Géologie de Hodna (au 1/500.000, 1952 adaptée)

- Le quaternaire ; présenté par d'anciennes alluvions et des sédiments fins.
- Le tertiaire, comporte l'Eocène, l'Oligocène continental et le Miocène. Le premier est caractérisé par des grès rouges, des argiles variées, des calcaires et des conglomérats. Le second caractérisé par des conglomérats, des grès fins friables, des marnes rougeâtres et le dernier est constitué d'une alternance de marnes gypseuse avec des grès et calcaire.
- Le secondaire: comporte le Trias, Jurassique et le Crétacé. Le Trias présente une lithologie composée de marnes gypseuse et de sels, le Jurassique formé par le calcaire et le Crétacé formé par des bans de marnes et de grès avec intercalation.

III.5. Conclusion

Comme nous avons vu, on peut considérer que le sable est la matière première le plus important dans tous les domaines de construction et notre région M'sila est très riche de cet élément précieux à travers le cordon dunaire qui traverse la plaine de Medjedel, la plaine d'Eddis et celle de Boussaâda pour aboutir enfin au sud du chott El Hodna, qui peut améliorer les caractéristiques de n'importe quel composite. Sans oublier de citer les différentes sablières qui sont en activité au niveau de la wilaya de M'sila. Parmi de ces sablières on a envisagé d'utiliser trois types de sables qui font l'objet du sixième chapitre.

CHAPITRE IV
Déchets Plastiques

IV. 1-Introduction

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement et l'incinération. Toutefois, la croissance exponentielle de déchets d'emballages plastiques amène à prévoir d'autres filières de recyclage. Les matériaux de construction peuvent représenter un débouché intéressant. En effet, des études antérieures [1-4] ont montré qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons et mortiers et même d'autres types de déchets comme les granulats recyclés de démolition et/ou de construction [5, 6].

Notamment le polyéthylène téréphtalate (PET) recyclé, issu des emballages a été utilisé comme liant pour la production d'un matériau composite à hautes performances : le béton de polymère. Le plastique est transformé en présence de glycols, en résine polyester insaturée qui est ensuite mélangée avec du sable et des gravillons. Le béton de polymère obtenu est très résistant en compression et en flexion par rapport au béton de ciment Portland conventionnel [7]. Il présente aussi l'avantage d'atteindre 80% de ses résistances mécaniques dès les premiers jours de prise [3].

Mais il est sensible à la température [3]. D'autres auteurs ont aussi utilisé des déchets en PET mélangés à des déchets en polyéthylène haute densité (PEHD) comme granulats, en substitution partielle du sable (5 à 20% du volume total du sable) afin de les comparer aux fibres de verre généralement utilisées comme renfort de structure [8]. Leur étude a montré qu'une substitution volumique excédant 15% diminue les propriétés mécaniques des nouveaux composites par rapport au mortier de référence ne contenant pas de déchets.

IV.2- Déchets plastiques

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Il existe plusieurs types de déchets plastiques :

- a) **Déchets plastiques industriels** : Il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).
- b) **Déchets de production** : Ils proviennent des arrêts de réacteur dépolymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. Ils sont homogènes et présentent la particularité

d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS, PVC).

c) Déchets de transformation : Ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage, ...).

On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine[24].



FIG IV.1 : Différents types de déchets plastiques

IV.2.1-Valorisation du plastique

Il y a trois grandes méthodes de valorisation du plastique :

a) Valorisation énergétique : Elle consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques. En revanche si elle est mal maîtrisée elle peut présenter des risques majeurs pour l'environnement et la santé des êtres vivants par l'émission de dioxines et de HAP, molécules cancérogènes présentes dans les fumées.

b) Valorisation matière, ou valorisation mécanique : Elle consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastiques à partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés par type de résine plastique. Plus le tri est efficace, plus le produit en sortie de valorisation matière est de bonne qualité. Les expériences que nous présentons ci-après sont des modes de valorisation matière.

c) Valorisation chimique : Elle consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...), pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du Nord et les pays émergents.

IV. 2.2- Reconnaissance des plastiques les plus courants

Le moyen le plus simple pour reconnaître un plastique est d'utiliser si possible le code d'identification des résines.

IV. 2.2.1-Code d'identification des résines

Vous pouvez reconnaître le plastique recyclable au symbole en forme de triangle que l'on peut habituellement trouver au bas d'une bouteille avec une abréviation en lettres et en chiffres pour indiquer le type de plastique dont il s'agit. Ainsi, les matériaux plastiques recyclables sont codifiés de 1 à 7 à ce jour, de la façon suivante :

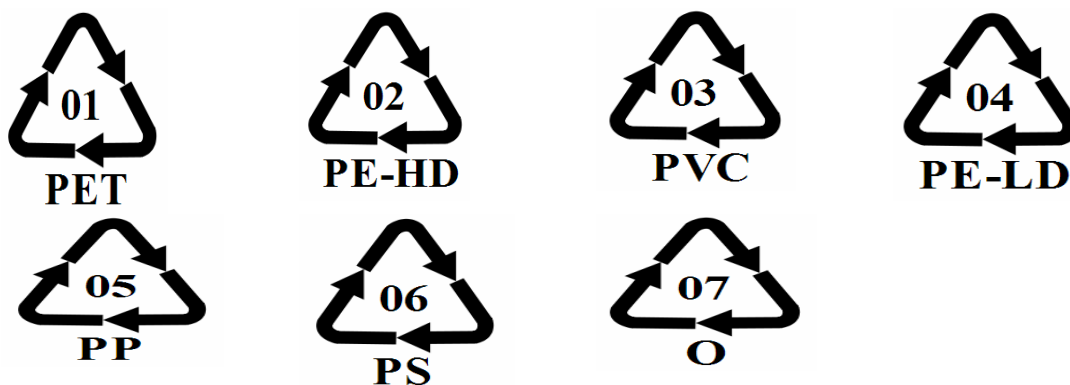


FIG IV.2 : Codage de matériaux plastiques

IV. 2.2.2 -Les plastiques recyclables

Par 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. Le recyclage du plastique est considéré comme l'une des meilleures voies de prise en compte du développement durable. Il est devenu, à cet effet, une priorité en termes de gestion du développement durable (Coulibaly, 2008).

a) PET : Polyéthylène téréphtalate (FIG IV.3)

- Bouteilles recyclables (gazeuses ou non) ;
- Rembourrage (oreillers, peluches, ...) ;
- Fibres textiles (polaires notamment avec PET recyclé) ;
- Emballages jetables de toutes sortes (barquettes alimentaires,).



FIG IV.3 : PET

b) PEHD : Polyéthylène haute densité (FIG IV.4)

- Bouteilles (lait et jus de fruits) ;
- Jerricans ;
- Jouets et verres pour enfants ;
- Flacons (détergents, assouplissants, cosmétiques, shampooing).

**FIG IV.4 : PEHD****c) PVC : Polychlorure de vinyle (Figure IV.5)**

- Emballages plastiques (pellicules plastiques moulantes, films souples) ;
- Cartes « format carte de crédit » (genre carte fidélité, réduction, ...) ;
- Jouets souples pour enfants (poupées Barbie, figurines, ...) ;
- Tuyauterie, produits de construction et mobilier. (cadres de fenêtre, bancs, tables, ...).

**FIG IV.5 : PVC****d) PELD : Polyéthylène basse densité (FIG IV.6)**

- Films plastiques souples
- Récipients souples (colles, moutarde, ketchup, ...)
- Sachets
- Sacs (ordures ménagères, sorties de caisses)
- tubes souples (crèmes dermiques, cosmétiques...)

**FIG IV.6 : PE-LD (PE-BD)****e) PP : Polypropylène (FIG IV.7)**

- Emballage de produits gras ;
- Flacons, récipients et objets divers ;

- Conditionnement de produits laitiers et des charcuteries (yoghourts, margarines,...)
- Récipients de préparations à réchauffer ;
- Films (emballage des pâtes, des chips, du pain, des biscottes, ...).



FIG IV.7 : PP

f) PS : Polystyrène (FIG IV.8)

- Polystyrène Cristal : matériel de bureau (règles équerres, rapporteurs), boîtier CD ;
- Polystyrène Choc : emballage des produits laitiers (yogourt,), gobelets jetables ;
- Polystyrène Expandé : coques et chips, présentation des préemballés (viandes, fromages).



FIG IV.8 : PS

IV. 2.2.3- Principes du recyclage

Le recyclage permet d'éviter le gaspillage de ressources naturelles et d'énergie, de sécuriser l'approvisionnement de l'industrie en matières premières, de diminuer ses impacts environnementaux. L'incorporation d'une matière première de recyclage (MPR) vierge permet :

- une moindre consommation d'énergie, d'eau ;
- une moindre émission de CO₂.

Depuis les années 2000, le recyclage constitue une vraie réponse face à :

- La production industrielle du fait des politiques de gestion des déchets : objectifs de recyclage, développement des filières à responsabilité élargie du producteur (REP) ;
- La demande croissante de matière ;
- Les contraintes environnementales et économiques.

Cette évolution a conduit à l'industrialisation du recyclage telle que nous la connaissons aujourd'hui dans une dynamique poussée par l'économie circulaire.

IV. 2.2.4 -Deux méthodes de recyclage des déchets plastiques les plus répandues

a) Régénération

La régénération des matières plastiques est la technique la plus employée à travers le monde, que ce soit dans les pays du nord comme ceux du sud, puisque ce procédé permet de valoriser tous les thermoplastiques, soit 75 % de la production mondiale de plastique. La régénération consiste à produire de la poudre, des granulés ou du broyat à partir de déchets plastiques, comparables aux résines vierges, pour les réintroduire sur le marché international des résines plastiques.

Cette technique impose une grande rigueur sur le tri des plastiques (car les différentes résines thermoplastiques sont non miscibles entre elles) et sur la propreté de la résine, pour qu'elle soit reprise par les industriels.

La régénération est la technique la plus efficace en termes de rendement de valorisation matière des déchets plastiques. Mais elle nécessite un équipement relativement coûteux et des compétences techniques.

▪ Technique Générale

La régénération s'opère en plusieurs étapes : tri, lavage, séchage, broyage, extrusion, granulation.

Les unités de régénération peuvent être plus ou moins avancées dans leur processus de régénération et produire un sous-produit recyclé plus ou moins élaboré. Une unité de régénération n'est pas obligée d'avoir en charge toutes les étapes de production, on peut trouver un acteur pour chaque type d'opération. On distingue deux grandes phases dans le processus de régénération :

Phase 1 - Tri, lavage, séchage : cette étape consiste à présenter un déchet plastique non-souillé et trié par type et qualité de résine pour les opérations de broyage, granulation, extrusion. Ces opérations peuvent être réalisées sans machine.

Phase 2 - Broyage, extrusion, granulation : cette étape va apporter une grande valeur ajoutée en transformant le déchet plastique en sous-produit commercialisable auprès de l'industrie plastique. Pour cela il est nécessaire de s'équiper en machine, dont la consommation électrique n'est pas négligeable, surtout pour l'extrusion.

La régénération du plastique permet de traiter tous les thermoplastiques avec le même équipement et selon le même procédé, seuls les paramètres de réglage des différentes machines changeront en fonction du plastique traité (température, vitesse de rotation de l'extrudeuse,...).

b) La fabrication d'éléments de construction

A la fin des années 90 est apparue l'idée d'utiliser le plastique (et notamment les sachets plastiques) comme liant, en remplacement du ciment, afin de produire différents éléments de construction comme des pavés, des briques, des tuiles...

▪ Technique Générale

Les sachets plastiques sont pour la plupart faits en polyéthylène basse densité (PEBD), qui est un thermoplastique. En les chauffant, ils vont fondre et devenir visqueux ; on y ajoute alors du sable tout en malaxant. Une fois le mélange homogène, on le verse dans un moule et on laisse refroidir avant démoulage.

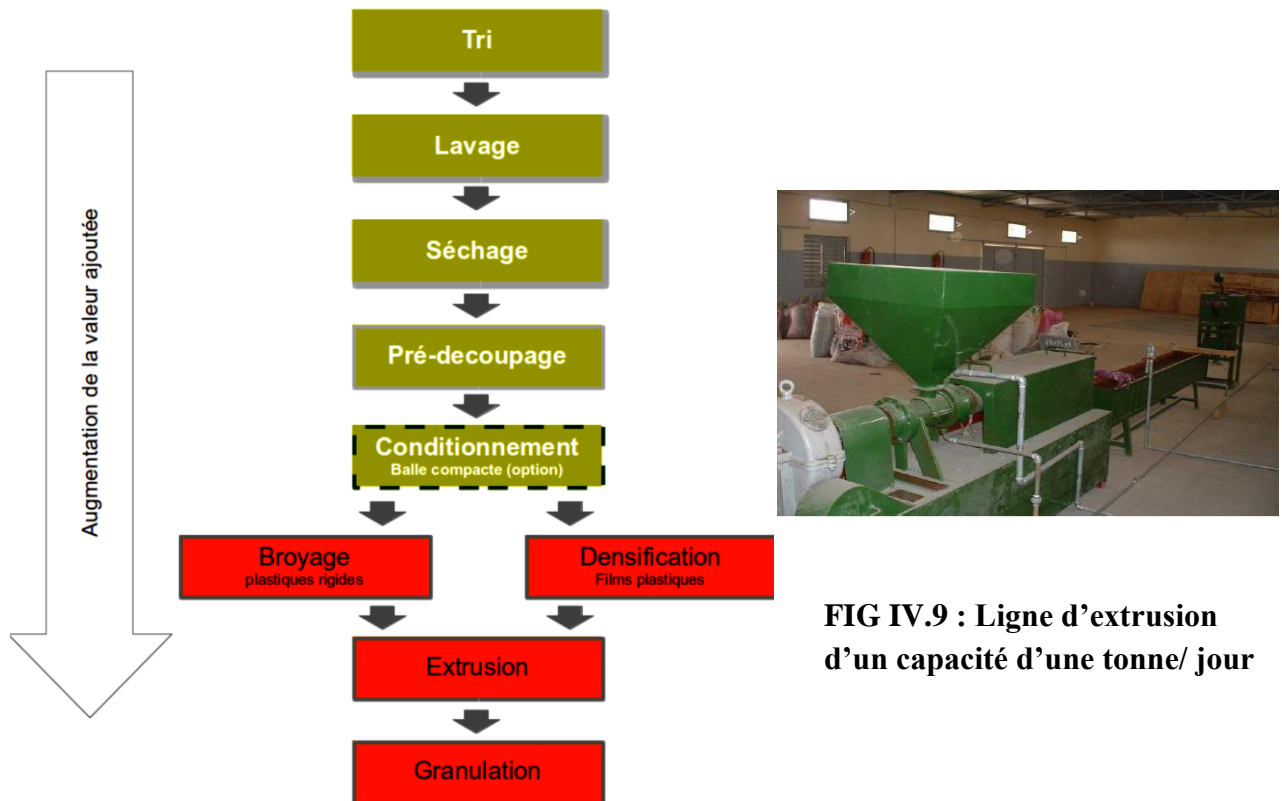


FIG IV.9 : Ligne d'extrusion d'une capacité d'une tonne/ jour

FIG IV.10: Schéma du processus standard de régénération

Cette technique, qui présente l'avantage de nécessiter de faibles investissements et permet de valoriser les sachets même non lavés, a beaucoup attiré l'attention en Afrique. Elle a été testée par de nombreuses structures avec plus ou moins de succès. La méthode la plus aboutie aujourd'hui est celle du CTG Garoua au Cameroun (FIG IV.10).

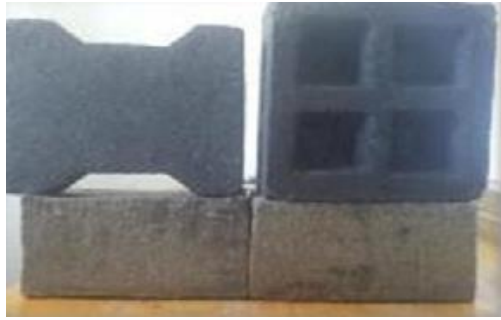


FIG IV.11 : Pavés et briques de mélange sable-plastique

IV. 2.7- Évaluation de la qualité du produit recyclé

Chez les recycleurs, l'évaluation de la qualité est plus avancée puisqu'elle dépend surtout des propriétés physico-chimiques du plastique récupéré, qui devient alors un intrant dans un procédé industriel manufacturier. Les auteurs Vilaplana et Karlsson ont suggéré que la qualité des plastiques voués au recyclage reposait sur trois aspects distincts : la composition en polymères, l'intégrité chimique des polymères et la présence de matières indésirables (contaminants) [21].

Lorsque différents polymères sont présents dans un flux de matière, puis fondus ensemble, les molécules d'une même famille s'agglomèrent à l'état liquide. Ceci produit une émulsion de plusieurs phases distinctes. L'interface entre ces phases forme des points faibles dans le produit fini, et les propriétés mécaniques sont affectées. En général, les procédés de tri et de décontamination tentent de séparer autant que possible les différents polymères pour éviter ce problème.[31].

IV. 2.8 - Différents procédés de transformation du plastique [32]

Les matières plastiques ou polymères destinés à la transformation se présente sous forme de liquides, de poudres ou de granulés. Pour les transformer, il faut les mélanger et les fondre, y ajouter parfois des additifs (colorants, plastifiants...) et les façonner en choisissant parmi les huit principaux procédés, celui qui est le plus adapté à l'objet ou à l'emballage que l'on souhaite obtenir.

IV. 2.8.1- Calandrage

Le calandrage permet de fabriquer des produits semi-finis, comme des films. Dans une machine appelée calandre, les matières thermoplastiques, mélangées à des additifs et des stabilisants, sont écrasés entre plusieurs cylindres parallèles (FIG IV.12).

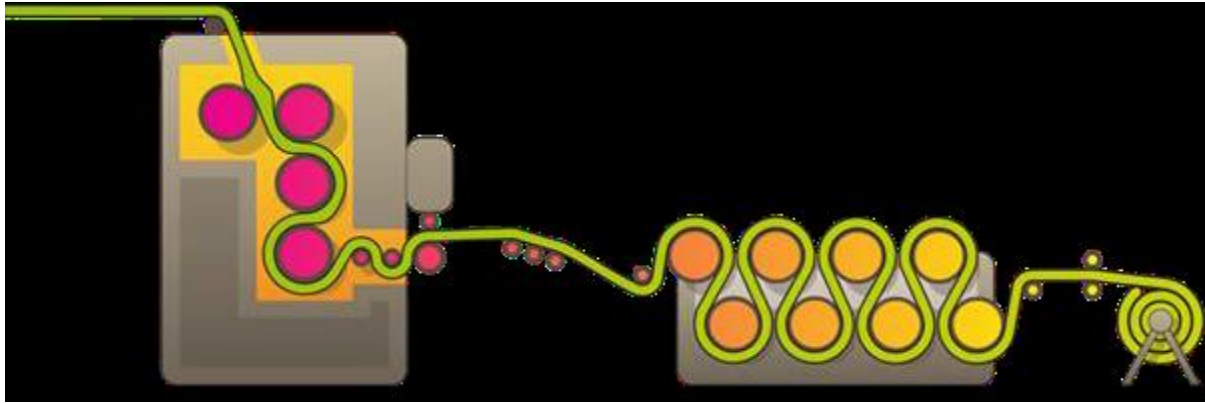


FIG IV.12 : Principe du calandrage

✓ **Principe :**

- Elle le passe plusieurs fois entre les rouleaux pour une homogénéisation parfaite, un peu comme une guimauve.
- Pour permettre la gélification de la matière, celle-ci passe entre 2 calandres chauffées, réglées selon différents paramètres (température calandres, pressions, vitesse rotation...).
- L'écartement, la pression et le type de rouleaux vont donner les dimensions et les aspects des films (le grainage).
- Les films sont mis en bobine ou coupés et empilés pour faire des feuilles, aux dimensions et épaisseurs souhaitées des objets à former.

✓ **Applications :**

- Le calandrage permet de fabriquer des produits semi-finis : Des feuilles ou des films qui seront transformés par la suite pour devenir des pots, des barquettes ou des gobelets.

IV. 2.8.2- Thermoformage

Derrière ce terme compliqué se cache le procédé de fabrication qui permet de réaliser toutes sortes d'objets aux formes creuses. Concrètement, pour les emballages, le thermoformage permet de créer des barquettes, des gobelets ou encore des pots de yaourt. (**FIG IV.12**).

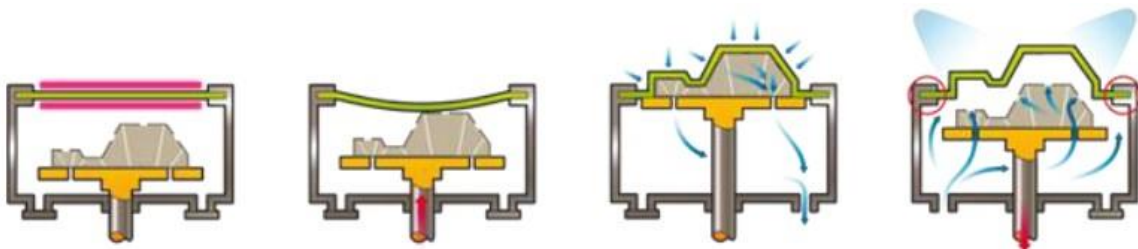


FIG IV.13 : Principe du thermoformage

✓ **Principe :**

- Mise en place de la feuille et chauffage par un plateau chauffant supérieur et inférieur.
- Montée du moule : la feuille est ramollie et le moule monte pour emboutir la feuille.
- Formage / Refroidissement : une fois le moule en position haute, le vide est fait entre le moule et la feuille.

- La feuille se plaque sur le moule et en prend sa forme. De l'air ou de petites gouttelettes d'eau sont projetées sur la pièce pour la refroidir et lui donner sa forme finale.
- De l'air est soufflé à l'intérieur du moule pour décoller la pièce du moule et celui-ci descend pour libérer la pièce.
- Une fois le moule descendu, la pièce peut être enlevée puis décortiquée pour enlever les chutes de production (cercle rouge)

✓ **Applications :**

Jouets (bac à sable, toboggans...), Pots de yaourt Blister Gobelets et barquettes

IV. 2.8.3- Injection

Tes jouets et tes figurines en plastique ont été façonnés à partir de cette technique de moulage appelée l'injection. C'est un procédé de fabrication qui permet de créer des objets moulés avec des formes compliquées en grande série. Cette technique est parfaitement adaptée pour la réalisation de pièces de très petite ou de grande taille (de quelques dixièmes de grammes à plusieurs kilogrammes) (FIG IV.14).

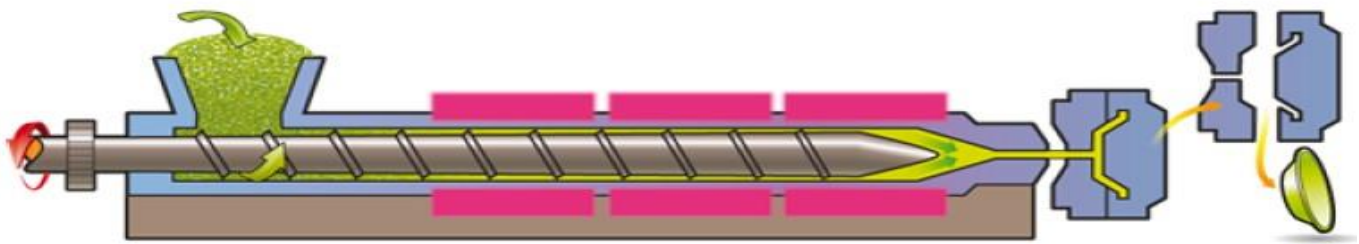


FIG IV.14 : Principe d'injection

✓ **Principe**

Avant de ressembler à des jouets sophistiqués, les Playmobil ou les Legos n'étaient que des granulés.

- La matière plastique est versée dans la trémie de la presse à injecter.
- Elle est chauffée et malaxée par une vis sans fin. Les granulés deviennent liquides et se mélangent.
- La pâte est injectée sous pression vers un moule en acier verrouillé.
- Le plastique chaud prend la forme du moule plus froid et se solidifie à mesure que la température baisse.

✓ **Applications**

Médical : Instruments médicaux à usage unique Automobile : tableau de bord voiture, pièce sous capot moteur Loisir : télévision, téléphone portable... Electroménagers : cafetière, robot... Emballages : préformes de bouteilles, seaux, pots

IV. 2.8.4- Extrusion

L'extrusion est le procédé de transformation qui sert à fabriquer des pièces en longueur comme des tuyaux, des gouttières ou des tubes... De dentifrice par exemple.

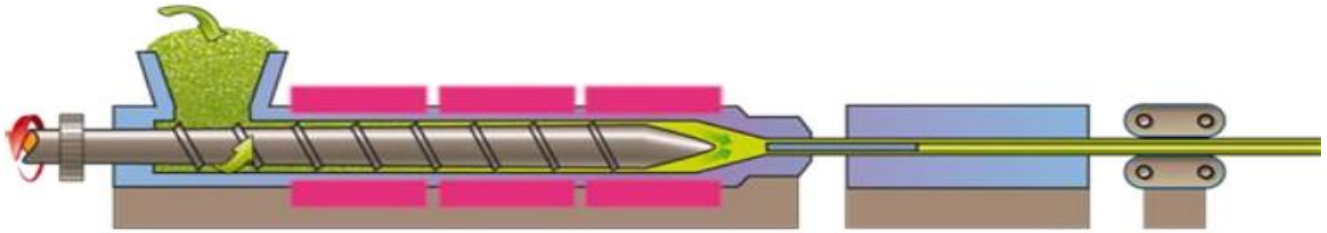


FIG IV.15 : Principe d'extrusion

✓ **Principe**

- On verse le polymère sous forme de granulés ou de poudre solide dans la trémie de l'extrudeuse.
- La matière est entraînée par la vis sans fin qui tourne dans un cylindre chauffé.
- Elle se liquéfie sous l'effet de la chaleur et de la friction.
- La vis entraîne le plastique vers la sortie. La tête de sortie (pièce en acier aux formes variées) donne sa forme au produit au plastique qui est ensuite refroidi.

✓ **Application**

Bâtiment : profilés des fenêtres, gouttières, tubes d'évacuation... Médical : tubes perfusion... Emballages : tubes, pailles...



FIG IV.16: Types de profile obtenu par extrusion

IV. 2.8.5- L'expansion moulage

Le dernier procédé de transformation est appelé expansion moulage. Il sert à fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé.

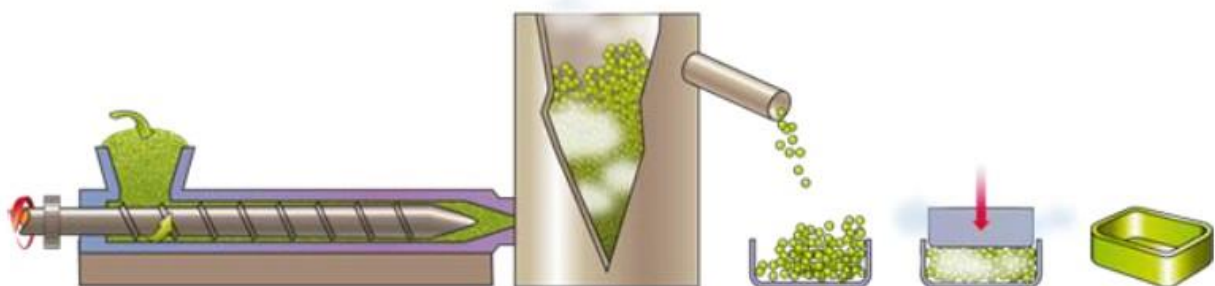


FIG IV.17 : Procède d'expansion moulage

✓ **Principe**

- Avant d'être expansé, le polystyrène se présente sous forme de petites billes qui renferment des micro-inclusions de gaz (à l'état liquide).
- Au contact de la vapeur d'eau, la matière plastique se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate.
- Les billes gonflent grâce à l'air qu'il contient, comme le pop-corn, mais avec une forme plus régulière.
- Cette première expansion est réalisée en usine dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial des petites billes de polystyrène.
- Ensuite, on sèche les billes pré-expansées dans un silo et on les introduit dans un moule fermé, soumis à une nouvelle injection de vapeur d'eau. Les billes reprennent leur expansion, occupent tout l'espace du moule et se soudent entre elles pour obtenir la forme désirée de l'emballage.

✓ **Applications**

Caisses à poissons, barquettes.

IV. 3 - Impact du recyclage des déchets sur l'environnement

IV. 3.1-Définition

L'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa "fin de vie".

Le mot « impact » vient du latin « impactus », du participe passé de « impigie », signifiant heurté (**André, 1999**). D'un point de vue strictement écologique, les impacts sont décrits comme des déviations de dynamiques naturelles d'évolution aboutissant à des modifications de l'état théorique d'écosystème (**Blandin, 1986**). Un impact sur l'environnement peut se définir comme l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur une composante de l'environnement pris dans le sens large du terme (c'est-à-dire englobant les aspects biophysiques et humains), en comparaison de la situation probable advenant la non-réalisation du projet (**Wathern, 1988**).

IV. 3. 2. Impact environnemental[33]

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie et sont des matières extrêmement pratiques et agréables. Les industries, surtout celles de haute technologie comme l'aérospatiale, la médecine, l'informatique et les télécommunications, dépendent de la mise au point de nouvelles matières plastiques.

Au-delà des atouts majeurs de ces matières (sans danger, hygiéniques, résistantes, durables, légères, isolantes, adaptables), les déchets plastiques sont volumineux par rapport à leur poids léger. Ils prennent donc beaucoup de volume dans les points de collecte et dans les centres d'enfouissement technique. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique. De plus, les bouteilles éliminées en centre d'enfouissement technique subissent à long terme une dégradation qui génère d'autres nuisances.

Leur élimination illégale est génératrice de rejets incontrôlés et éventuellement nocifs.

Si la réutilisation des matières plastiques est très peu développée actuellement, d'autres techniques de traitement des déchets sont développées. Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

IV. 3. 2. 1-Impacts directs

- ✓ Création d'emploi ;
- ✓ Source de revenu ;
- ✓ Réduction des coûts pour les collectivités ;
- ✓ Impacts sur l'environnement (l'eau, l'air et le sol) et valeur passive .

IV. 3. 2. 2-Impacts indirects

- ✓ Provision d'emploi et de revenu ;
- ✓ Protection des ressources naturelles ;
- ✓ Réduction de gaze à effet de serre.

IV.4- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le contexte des différents types de déchet et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde, ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine de génie civil.

Le recyclage des déchets plastiques dans les pays en développement est une problématique en plein développement. La valorisation matière est généralement la seule méthode effectivement mise en place et qui fait l'objet de développement dans les PED. Parmi ces types de valorisation matière on distingue deux pratiques : la pratique artisanale et la pratique industrielle, La filière industrielle repose essentiellement sur le procédé de régénération qui semble être le seul moyen de recycler efficacement et en grande quantité les déchets plastiques.

La contribution du secteur informel de la récupération des déchets se concentre davantage sur la lutte contre la pauvreté, la santé, l'environnement,...etc. Il assure un emploi à un grand nombre de personnes et donc un revenu.

L'objectif de ce travail est de valoriser les déchets plastiques et étudier leurs effets sur le comportement du béton.

CHAPITRE V
***Méthode d'élaboration de pavés de résines
thermoplastiques***

V.1- Introduction

Les pavés sont en général des blocs en béton de forme carrée, rectangulaire ou autobloquant, en fonction des moules on obtient divers types de pavés. Ainsi, les pavés que nous allons fabriquer au cours de ce projet et lors de nos expérimentations sont à base de l'agrégats composites PEHD et sables siliceux, de forme hexagonale et qui sont réalisés par une unité de recyclage de matière plastique (broyeur – extrudeuse). Ces dernières années, le réaménagement des rues et des places a fait de plus en plus appel aux pavés béton. A côté des qualités bien connues de polymères, les pavés plastiques offrent par ailleurs un certain nombre d'avantage spécifiques, tels une mise en place facile ; une possibilité étendue de remplacement et de réutilisation, un choix incomparable de formes. Les pavés peuvent remplir diverse fonctions dont l'aspect esthétique n'est pas la moindre. La fabrication de ces pavés se passe schématiquement de la manière suivante (**FIGV.1**) :



FIG V.1 - Schéma de processus de fabrication des pavés

V.2- Méthode d'élaboration

Le sable et le plastique sont mélangés selon la proportion (massique) souhaitée. Les échantillons ont été confectionnés avec les proportions de plastique suivant :

$$P(\%) = \frac{M_p}{M_s + M_p} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equation 1}$$

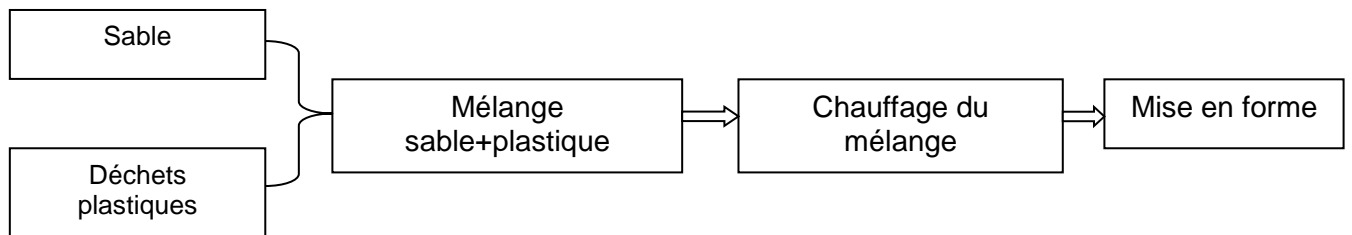
Avec :

P (%) est le pourcentage massique du plastique

M_p est la masse de plastique

M_s est la masse du sable

Au cours de notre étude la méthodologie adoptée est la suivante (**FIGV.2**):



FIGV.2 :Schéma de la procédure d'élaboration des échantillons

V.3 - Matériaux utilisés

V.3.1- Déchets plastiques

Les déchets plastiques sont les plastiques d'emballage rejetés dans la nature après utilisation de leurs contenus par les consommateurs. Ces déchets plastiques sont essentiellement des polyéthylènes. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau. On distingue deux familles : le PEBD ou polyéthylène basse densité et le PEHD polyéthylène haute densité.

Les plastiques que nous avons utilisés pour notre étude sont essentiellement constitués de PEHD car ils ont une grande utilisation donc plus rejeté dans la nature. Les plastiques sont tris et lavés puis broyés afin de faciliter l'homogénéité du mélange sable plastique.



FIG V.3: Polyéthylène haute densité

V.3.1.1- Caractéristiques des plastiques

Tableau V.1 :Caractéristiques des plastiques très recyclables

Nom	Température de fusion	Densité
PET	260° C	1.34
PEHD	220° C	0.90
PVC	200° C	0.94
PEBD	180° C	1.4
PP	170° C	0.92
PS	160° C	1.04

V.3.2- Sable

Le sable est constitué de sédiments détritiques dont les grains ont une taille comprise entre 63µm et 2 mm. Le plus fréquent de ces composants est le quartz, le constituant non altérable du granite. Le sable utilisé est le sable de : sable de Ain el s'baa (A) région sidi Ammeur, le sable de oued Maïter (M) région Boussaâda ,le sable el Khalwa (K) region Maadid , le sable de silice d'usine (S) Maghreb pipe. Après prélèvement, le sable est d'abord lavé à l'eau de robinet, séché au soleil et passé au tamis de 1 mm. C'est donc la fraction passante de ce tamis qui sera utilisée au cours de notre étude. Cette fraction a été soumise à l'analyse granulométrique afin de déterminer certaines caractéristiques intrinsèques liées à ce sable.

La qualité des granulats (sables) peut être appréciée à travers divers essais de laboratoire :

V.3.2.1 - Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est le procédé par lequel on détermine la proportion des différents constituants solides d'un sol en fonction de leur grosseur à l'aide de tamis. On appelle « refus » sur un tamis les matériaux qui est retenu par le tamis, et « tamisas » ou « passant » le matériau qui passe à travers les mailles d'un tamis. L'essai a pour but de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes dimensions qui constituent le sol.



FIGV.4 :Technique d'analyse granulométrique

Les pourcentages ainsi obtenus sont exprimés sous forme d'un graphique appelé **courbe granulométrique**. Ainsi en fonction de la dimension des grains, on distingue :

Tableau V. 2 : Définition des classes de dimension selon la norme AFNOR 18-540 [34]

Granulats	Gr Dimension
Cailloux et pierres	$25mm < D$
Gravillons grossiers	$20\text{ mm} < D > 25\text{ mm}$
Gravillons moyens	$12,5\text{ mm} < D > 16\text{ mm}$
Gravillons fins	$8\text{ mm} < D > 10\text{ mm}$
Sable grossier	$2,5\text{ mm} < D > 5\text{ mm}$
Sable moyen	$0,63\text{ mm} < D > 1,25\text{ mm}$
Sable fin	$80\ \mu\text{m} < D > 315\ \mu\text{m}$
Filler	$D > 80\ \mu\text{m}$

V.3.2.2- Essai d'équivalent de sable

La propreté des sables se contrôle par l'essai d'équivalent de sable. On agite une certaine quantité de sable dans une solution lavante (disponible dans le commerce) puis on laisse reposer pendant un certain temps.



FIGV.5 : Les matériels. Source Wikipédia.

La hauteur du dépôt de sable visible étant h_1 , h_2 la hauteur totale y compris le floculat qui est égale aux fines en suspension :

$$ES = 100 \times \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots \text{Equation 2}$$

La hauteur de sable peut aussi se déterminer à l'aide d'un piston lesté que l'on dépose doucement sur le sable après lu la hauteur totale.

Tableau V.3 : Valeur préconisée pour ES (équivalent de sable)[34]

ES à vue	ES piston	Nature et qualité du sable
ES<65	ES< 60	Sable argileux : risque de retrait ou gonflement, pas bon pour béton de qualité
65≤ES<75	60≤ES< 70	Sable légèrement argileux : propreté admissible pour béton de qualité courante (retrait possible)
75≤ES<85	70≤ES< 80	Sable propre à faible % de fines argileuses.
ES≥ 85	ES≥ 80	Sable très propre.

V.3.2.3 - Module de finesse d'un granulat

Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série, le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les stables, les tamis concernés sont : 0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 et 5 mm. Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante .

$$Mf = \frac{1}{100} \sum_i^n Refuts \dots\dots\dots \text{Equation 3}$$

C'est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8 ($2,2 \leq Mf < 2,8$).

V.4 - Broyeur de plastique

V.4.1-Introduction

Le processus de broyage des matières premières consiste à défragmenter ou à découper les pièces plastiques en petits morceaux de quelque cm³de volume pour les réutiliser après lavage et passage dans le fourreau dans des machines spéciales dites machine d'injection ou d'extrusion.

L'idée principale consiste donc de déterminer un mécanisme capable de transformer toute pièce plastique en petits morceaux.



FIG V.6 : machine de broyage bases sur le martelage

V.4.2- Broyeur à lames

Le nouveau principe de la machine consiste à découper les pièces par cisaillement à l'aide des lames spécialement conçues pour cette tâche.

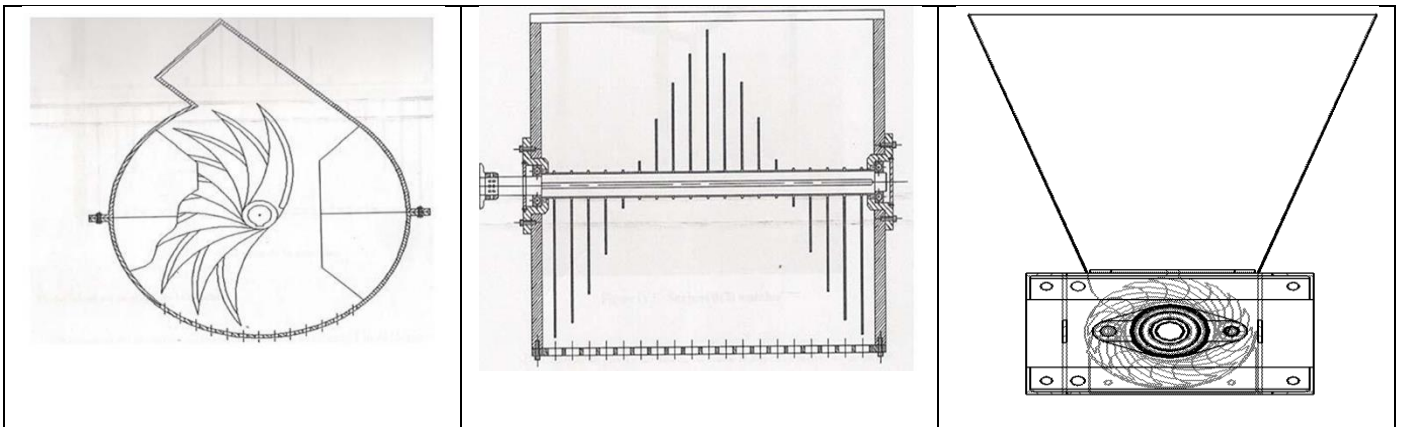
Les lames sont soigneusement étudiées pour pouvoir attaquer les pièces sous un angle bien précis et pour que l'arête coupante pénètre les pièces avec un minimum de choc afin d'éviter l'usure rapide de la lame.

En effet ce système nous permet de travailler à une grande vitesse de rotation 1500 tr/min pour assurer une efficacité et un rendement plus élevé et un débit beaucoup plus grand que la machine traditionnelle fonctionnant à des petites vitesses de rotation 50 tr/min.

V.4.3- Fonctionnement du broyeur

Quand le moteur électrique tourne, il entraîne avec lui l'axe et les lames coupantes par l'intermédiaire d'un accouplement.

On choisit à la chambre de découpage une forme cylindrique dont l'axe se confond avec celui du cylindre, le cylindre étant divisé en deux parties pour faciliter le montage; les deux parties se joignent ensemble à l'aide des vis et écrou. La forme cylindrique de la chambre de découpage aide à mieux encombrer les bouteilles

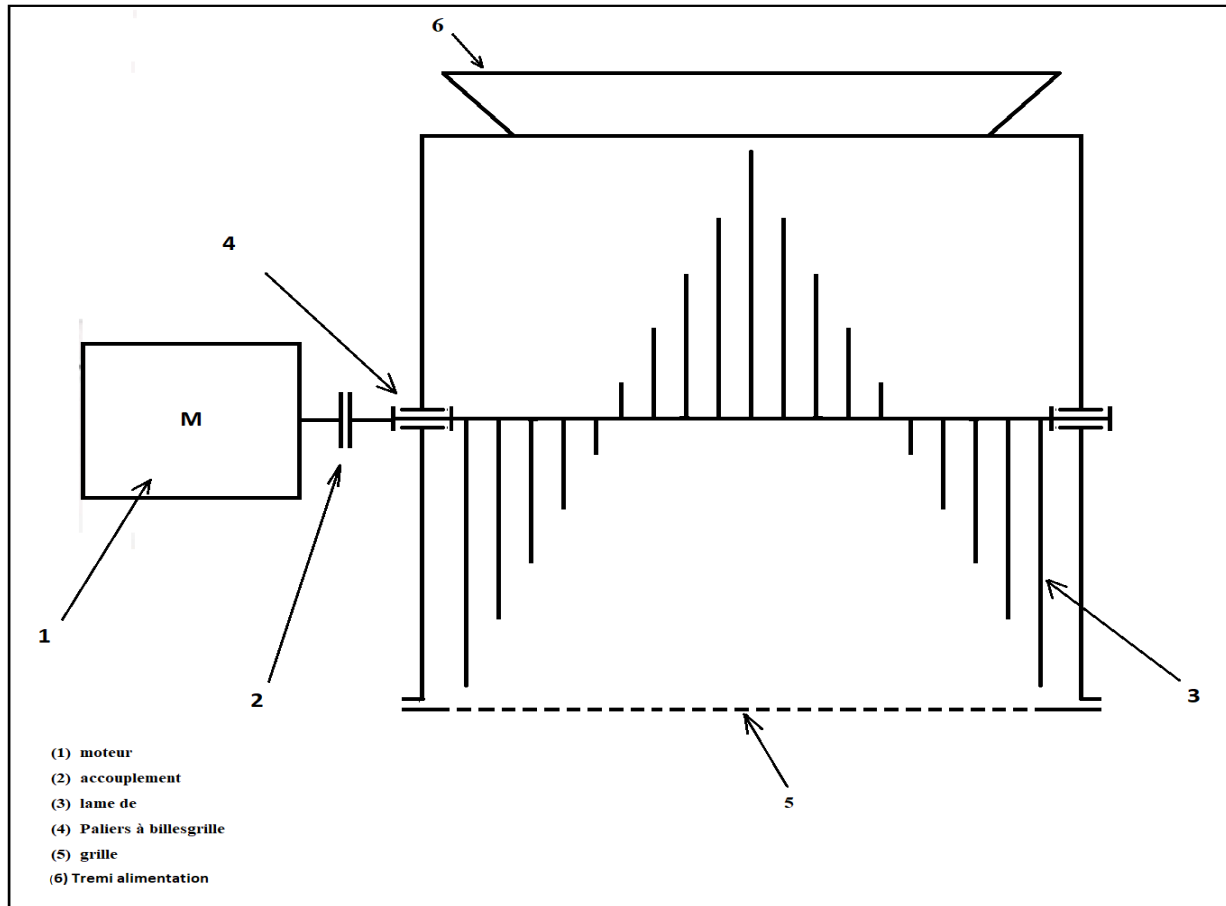


FIGV.7 :Schéma du broyeur a lame

A l'instant où le broyeur est alimenté par une pièce plastique, les lames coupantes tournantes attaquent la pièce et leurs arrêtes y pénètrent provoquant la coupure et ce mécanisme continue jusqu'à ce que le volume des pièces coupées soit minimal et les morceaux produits soient capables de traverser les trous de la grille fixée au-dessous du broyeur à une distance de 3mm des lames.

Le diamètre des trous varie selon les dimensions souhaitées.

V.4.4 - Schéma cinématique du broyeur à lame



V.5 - Extrudeuse mon-vis à résistances électriques

V.5.1- Introduction

L'extrusion est le plus important des procédés de mise en forme des polymères. Elle présente l'avantage de fonctionner en continu. Quand cette technologie n'est pas utilisée pour la mise en forme d'un produit fini (film, plaque, profilé, tube, etc.), l'extrusion peut aussi être utilisée pour des étapes intermédiaires du procédé de fabrication : compoundage, granulation ou encore polymérisation. Le terme « extrusion » désigne généralement un système vis-fourreau équipé d'une filière dont les fonctions sont les suivantes : transport et malaxage de la matière, plastification ou fusion du polymère grâce à la chaleur apportée (apport thermique et dissipation visqueuse), et mise sous pression du polymère nécessaire à sa transformation, à son écoulement à travers une filière de mise en forme. On trouve deux grandes familles de ces types de machines L'extrusion mono-vis et l'extrusion bi-vis .

V.5.2- Extrudeuse mono-vis[35]

Une extrudeuse est essentiellement constituée d'un fourreau cylindrique en acier de haute résistance dans lequel vient tourner une vis sans fin entraînée en rotation par un moto-variateur. Cet ensemble vis fourreau est thermo- régulé par un ensemble des résistances électriques ou par circulation de fluide. La matière est introduite dans la trémie qui s'ouvre sur le fourreau à l'entrée de la vis et celle – ci la pousse de façon continue jusqu'à la filière.

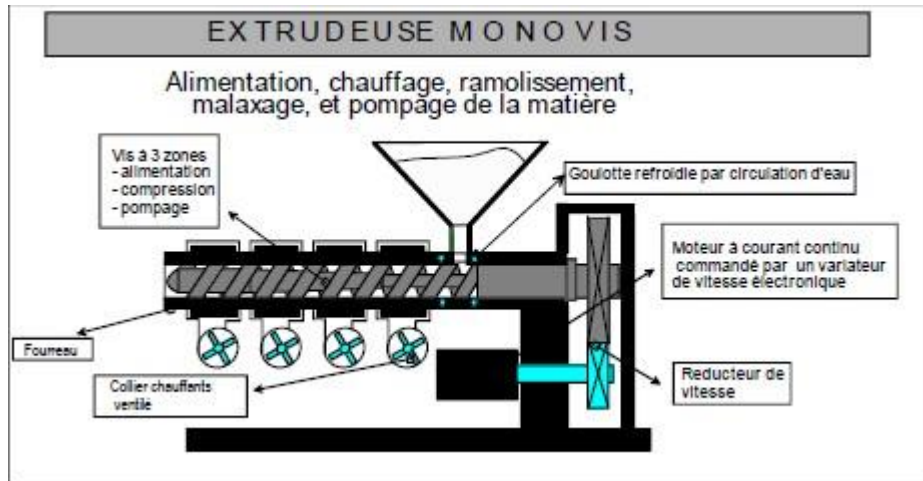


FIG V.8 : Schéma d'une extrudeuse mon-vis.

V.5.2.1- Roule de l'extrudeuse

La principale fonction de l'extrudeuse est de fondre le polymère et de le mettre en pression, pour qu'il puisse franchir la filière placée à son extrémité. D'après les observations qui ont été faites sur l'état du polymère dans la machine en régime permanent, on peut distinguer trois zones phénoménologiques (**FIG V.9**) :

- la zone d'alimentation, dans laquelle le polymère est entièrement solide(en granulés ou en poudre, plus ou moins compacté) ;
- la zone de plastification (ou de fusion), dans laquelle coexistent le polymère encore solide et le polymère déjà fondu ;
- la zone de pompage, dans laquelle le polymère est totalement fondu.

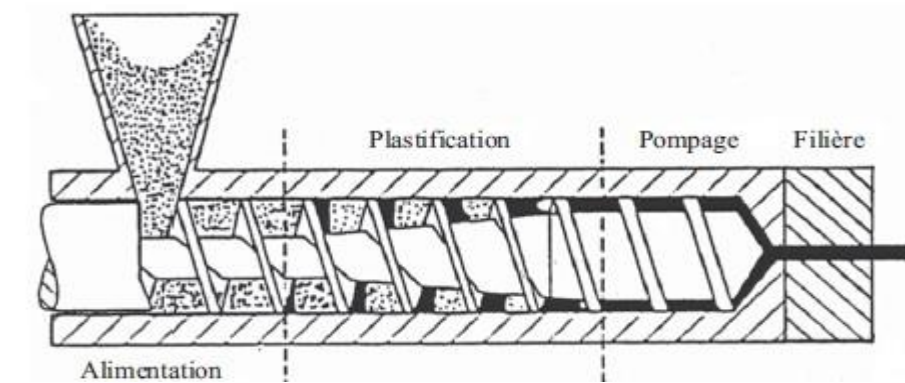


FIG V.9 : Schéma de l'extrudeuse mono-vis.

V.5.3 – Description de l'extrudeuse mono-vis

V.5.3.1 – Description de l'alimentation de matière dans la Trémie

En règle générale, on porte une attention particulière à la hauteur de matière dans une trémie:

- dans le cas de mélanges composés de plusieurs types de matériaux, les composants les plus lourds ou les plus électrostatiques ont tendance à rester sur les bords, d'où la séparation des composants du mélange.
- Plus la hauteur de matière dans la trémie est élevée, plus il existe de création de ponts de matière ou de bouchons. Ce phénomène induit une irrégularité d'approvisionnement au niveau de la vis.
- De même plus la hauteur de matière dans la trémie est élevée, plus la pression exercée sur la matière au niveau de la vis est importante. La quantité de matière avalée par la vis va donc varier en fonction de cette hauteur.

Un gaveur à vis situé à la base de la trémie permet d'obtenir une meilleure régularité d'approvisionnement de la vis de plastification.

Une grille magnétique disposée dans la trémie permet de retenir les particules métalliques.

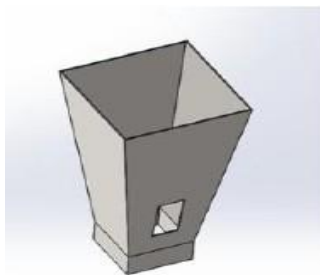


FIG V.10 : la trémie

V.5.3.2 – Description de Fourreau

Le cylindre ou fourreau est exécuté en acier nitruré ou revêtu d'une couche bimétallique pour résister à l'abrasion et à la corrosion. (la dureté dépasse souvent 60HRC). **FIG V.11**

La thermorégulation du cylindre s'effectue le plus souvent à l'aide de résistances réparties en 3 à 6 zones bien distinctes selon la longueur du fourreau et dont le fonctionnement est contrôlé et régulé par des pyromètres. A ces zones sont souvent associés des dispositifs de refroidissement (ventilateurs ou circulation d'huile) de façon à évacuer des calories en cas de surchauffe. La puissance du moteur dépend des dimensions de la vis et surtout de la production horaire souhaitée.

La zone d'alimentation en matière, appelée goulotte, est refroidie par circulation d'eau pour empêcher le collage de granulés sur la vis.

Aussi, il y a un autre système de refroidissement, l'ensemble des fourreaux constituant le corps de l'extrudeuse est régulé en température par un système combiné de chauffage externe (résistif ou inductif), piloté par des sondes de contrôle de température, avec un système de refroidissement interne comme

indiquant dans la **FIG V.12** . Pour notre travail, on peut choisir les ventilateurs avec des régulateurs comme un système de refroidissement pour l'ensemble de l'extrudeuse.

Le jeu entre le sommet des filets de la vis et l'alésage du fourreau est relativement petit de 2 mm.

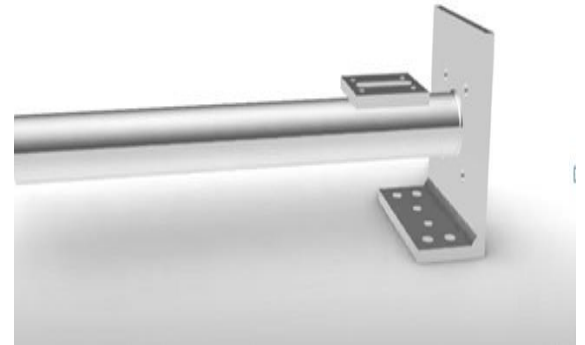
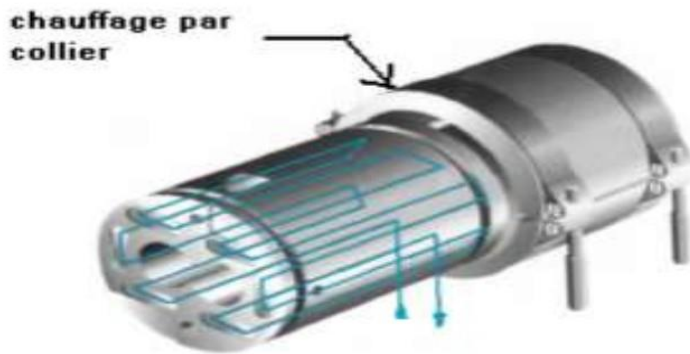


FIG V.11 : Fourreau

FIG V.12 : Régulation thermique de fourreau

V.5.3.3 – Description de la vis de plastification[35]

Le diamètre du corps de la vis augmente toujours de l'arrière vers l'avant de la machine, soit sur toute la longueur, soit sur une partie seulement. Dans ce dernier cas, qui est le plus courant, on peut alors distinguer trois zones liées à la géométrie de la vis (**FIG V. 13**) :

- la zone d'alimentation, où le diamètre de la vis, et donc la profondeur du chenal, est constant ;
- la zone de compression, où le diamètre augmente progressivement ; rectification
- la zone de pompage, où le diamètre est de nouveau constant, mais plus important qu'en alimentation.

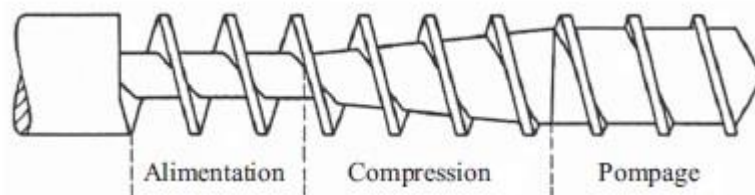


FIG V. 13 : Profil de vis : zones géométriques.

Ces vis sont en principe conçues pour que la zone de compression s'identifie à la zone de fusion, mais ceci n'est en général pas vérifié pour toutes les conditions de fonctionnement.

a) Géométrie de la vis

Les éléments géométriques essentiels du système vis-fourreau sont indiqués sur la **FIG V. 14**

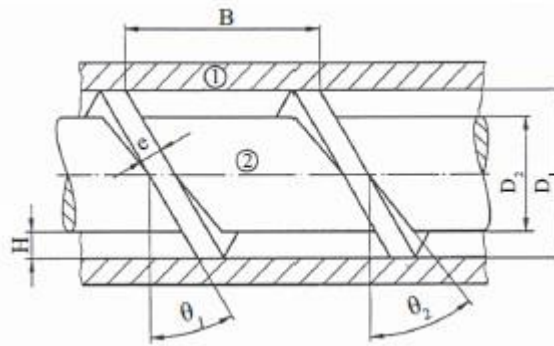


FIG V. 14 : Géométrie du système vis-fourreau. 1. Fourreau. 2. Corps de la vis.

Quatre paramètres suffisent à définir cette géométrie :

- le diamètre intérieur du fourreau : $D1$;
- le diamètre du corps de la vis : $D2$.

Ces deux paramètres donnent accès à la profondeur du chenal H :

$$H = \frac{D1 - D2}{2} \dots\dots\dots \text{Equation 4}$$

b) Caractéristiques d'une vis de plastification

Une vis d'extrusion présente plusieurs caractéristiques:

- Longueur active et diamètre extérieur de vis: La longueur active correspond à l'écart entre le bord aval de l'ouverture d'alimentation (goulotte) et l'extrémité de l'alésage du cylindre.

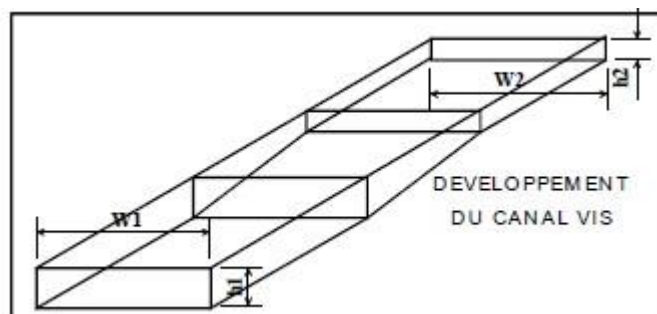
Le rapport L/D (longueur active divisée par le diamètre) est devenue la caractéristique de désignation selon la directive EUROMAP20.

Les extrudeuses les plus courantes ont un rapport L/D de 25 Ce rapport peut aller jusqu'à 35 pour obtenir des pressions et des débits importants d'extrusion.

- Le taux de compression d'une vis: Ce taux est défini comme étant le rapport entre le volume du creux entre filets sur un tour en entrée de vis et le volume du creux entre filets sur un tour en sortie de vis.

✓ Méthode de calcul approximative

On considère que le canal matière est enroulé sur un axe.

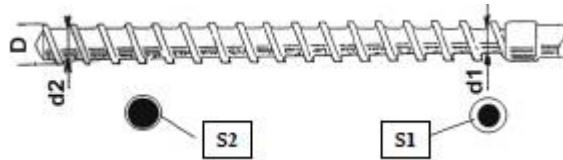


le taux de compression est égal au rapport: $\frac{h1 \cdot w1}{h2 \cdot w2}$ pour une unité de longueur de canal égale à 1

Si la largeur du canal W est constante le taux de compression est égal au rapport: $\frac{h1}{h2}$

Ceci revient à faire le rapport entre la hauteur de filet à l'entrée de la vis et la hauteur de filet à la sortie de la vis.

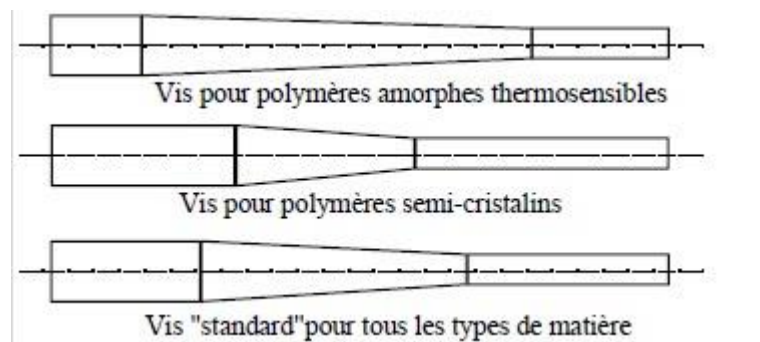
- ✓ Méthode de calcul plus précise par projection de la section du creux de filet sur un plan normal à l'axe de la vis:



$$S1 = \frac{\pi \times D^2}{4} - \frac{\pi \times d1^2}{4} \quad S2 = \frac{\pi \times D^2}{4} - \frac{\pi \times d2^2}{4} \quad Tc = \frac{S1}{S2}$$

Le choix du taux de compression dépend de la nature du matériau à transformer.

- **Le profil du noyau de la vis:** Il existe plusieurs profils de vis. Voici les principaux profils.



V.5.3.3.1 – Zone d'alimentation ou d'entrée

Fonction: alimenter et convoyer les granulés de plastique vers la zone de compression.

C'est dans cette zone que se développe la force de poussée de la matière le long de la vis par le phénomène vis écrou (la matière correspond à l'écrou). Pour que cette force soit suffisante la matière ne doit pas tourner avec la vis (effet de "patinage"). Pour y parvenir, il est nécessaire que:

- la vis soit polie
- la température de la vis soit inférieure à celle du cylindre

V.5.3.3.2 – Zone de compression

Fonction: Plastifier la matière et la mettre sous pression de façon progressive. C'est dans cette

zone que la matière va passer progressivement de l'état solide à l'état fondu. Ce phénomène de plastification est dû à une augmentation de T° de la matière par l'apport de chaleur du fourreau et par le travail des forces de cisaillement au sein du matériau. Le mouvement de circulation de la matière dans le canal de la vis contribue à la répartition uniforme des températures dans la matière.

La diminution du volume spécifique entre la matière à l'état solide (en granulé) et la matière à l'état fondu est compensé par le rétrécissement de la section du canal de la vis (taux de compression T_c).

- la matière ne commence pas à fondre dans cette zone

V.5.3.3.3 –Zone de pompage

Fonction: Mélanger, homogénéiser la matière et augmenter la pression sur le polymère.

La rotation de la vis permet d'augmenter la pression sur le polymère afin d'assurer l'écoulement de la matière à travers la grille et la filière à l'avant de l'extrudeuse.

Remarque: On introduit souvent dans cette zone une sorte de chicane ou malaxeur pour augmenter l'effet de malaxage et pour assurer une bonne homogénéité de la matière.

V.5.3.4 - Extrudeuse « de référence »[36]

Dans tous les paragraphes sur l'extrusion mono-vis, nous utiliserons une extrudeuse de référence dont les caractéristiques sont présentées sur la (FIG V.15)

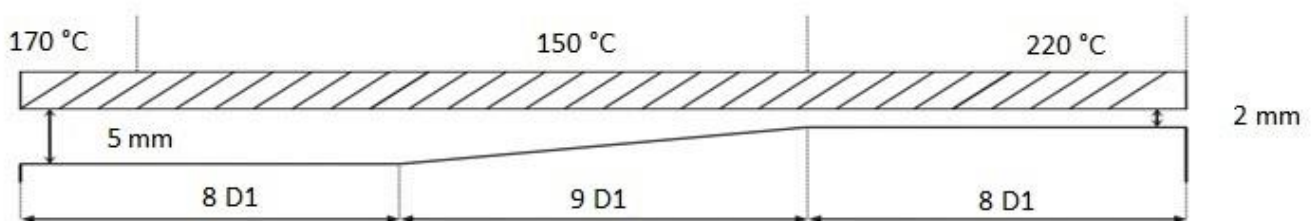


FIG v.15 : Géométrie de l'extrudeuse de référence.

– Choix de vis

Pour notre travail on a choisi une vis ayant les caractéristiques suivantes :

- Diamètre intérieur du fourreau : $D1 = 64$ mm.
- Diamètre extérieur du fourreau : $D = 84$ mm.
- Diamètre de la vis :
- zone de pompage : $D2p = 60$ mm,
- zone d'alimentation : $D2a = 54$ mm.
- Pas de la vis : $B = D1$.
- Longueur de la vis : $L = 25 D1 = 1600$ mm
- zone de pompage : $Lp = 8 D1 = 512$ mm
- zone de compression : $Lc = 9 D1 = 576$ mm
- zone d'alimentation : $La = 8 D1 = 512$ mm

- Épaisseur des filets de vis : $e = 5\text{mm}$.
- Vitesse de rotation de la vis : $\Omega = 30 \text{ tr.mn}^{-1}$.

Matière utilisé : En connaissance les contraintes d'effort exercées sur les différents composants de la vis sans fin tel que la force de frottement permanente avec la matière première et la chaleur très élevée jusqu'à 220°C , on choisit plutôt :

une matière dure (acier allié chrome :35NCD 16 par ex.) pour la vis qui assure le bon frottement avec le mélange polymère.

Tableau V.4 : Matières et traitements pour vis et fourreaux

MATIERES ET TRAITEMENTS POUR VIS ET FOURREAUX					
APPELLATION	DIN	TRAITEMENT	DURETE	Résistance ABRASION	Résistance CORROSION
EUV 41	1.8509	NITRURATION	950+1100 HV	*	*
EUV 79	1.2379	TREMPE	HRC 58+63	***	**
EUV 10	VANADIS 10	TREMPE	HRC \leq 62	*****	***
EUV 80	K390	TREMPE	HRC 58+64	*****	****
EUV 90	M390	TREMPE	HRC 58+62	****	*****

V.5.3.4.1- Mécanisme de déplacement du polymère

Dans la zone d'alimentation, le comportement rhéologique du polymère, en granulés ou en poudre, est *a priori* voisin de celui d'un « sable », avec une certaine cohésion et un certain angle de frottement interne. En fait, l'expérience montre qu'il est rapidement compacté, ou fritté, par la pression et la température et qu'il se comporte alors comme un solide plus ou moins indéformable, de forme hélicoïdale, avançant dans l'espace entre la vis et le fourreau. Avant d'entrer dans le détail des calculs, nous pouvons considérer deux situations extrêmes :

- 1re situation : le polymère colle parfaitement à la vis et glisse sur le fourreau ; la vis se colmate peu à peu et, au bout de quelques minutes de fonctionnement, le débit est nul ;
- 2e situation : le polymère glisse parfaitement sur la vis et frotte sur le fourreau ; le débit de l'extrudeuse est important, mais le couple d'entraînement de la vis est élevé et, dans certains cas, il peut y avoir blocage.

Ces deux exemples montrent que ce sont les forces de frottement entre le polymère et le métal des différentes surfaces en présence qui vont conditionner le déplacement du solide.

V.5.3.4.2- Description physique du frottement polymère-métal

Ce frottement est généralement décrit par la *loi de Coulomb* : $t = f p$, où t est la contrainte de cisaillement qui s'exerce dans la direction opposée à la vitesse relative des deux solides, p est la pression de contact et f est le *coefficient de frottement*, supposé indépendant de la vitesse relative des solides.

Le sens physique de cette loi est le suivant :

- l'aire de contact réelle a_0 n'est qu'une fraction de l'aire de contact apparente a ;
- la contrainte de frottement t_0 au niveau du contact réel est indépendante de la pression et de la vitesse ;

– la contrainte apparente $t = a0 t0/a$ dépend donc de p par l'intermédiaire de $a0$, qui peut être considérée comme proportionnelle à p (FIGV.16).

$$p_2 > p_1 \Rightarrow a_2 > a_1 \Rightarrow \tau_2 = \frac{a_2}{a} \tau_0 > \tau_1 = \frac{a_1}{a} \tau_0 \dots\dots\dots \text{Equation 5}$$

Dès que la pression atteint une valeur p^* telle que les granulés épousent parfaitement la surface du métal, la loi de Coulomb ne s'applique plus et la contrainte de frottement reste constante et égale à t_0 . Cette valeur de p^* est reliée à la contrainte d'écoulement du polymère solide.

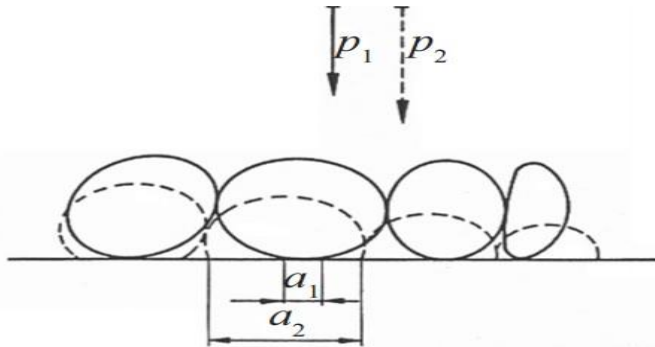


FIG V.16 :schéma représente la pression et la contrainte d'écoulement

Tableau V.5 :Valeurs caractéristiques du coefficient de frottement polymère/acier.

ABS	0,30-0,40	Polystyrène	0,50
Polyamide	0,25-0,45	PVC	0,20-0,50
PTFE	0,04-0,22	PET	0,54
PEHD	0,15-0,25	PEBD	0,20-0,50
Polycarbonate	0,60-0,70	Polypropylène	0,13-0,40

V.5.3.4.2. Palier

Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission. Suivant l'usage désiré, ces paliers peuvent être :

- lisses où les arbres qui reposent sur des coussinets sont soumis au frottement de glissement entre les surfaces en contact.
- à roulement où le contact s'effectue par l'intermédiaire de billes ou de rouleaux contenus dans des cages. On a là un phénomène de résistance au roulement (parfois appelé improprement « frottement de roulement ») qui permet une plus grande charge sur les paliers et une plus grande vitesse de rotation.

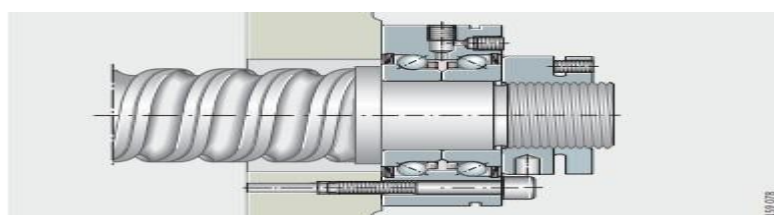


FIG V.17 : palier à roulement

- **Lubrification**

Les paliers de vis à roulement peuvent être lubrifiés à l'huile ou à la graisse. Dans les machines-outils, la température moyenne du roulement ne devrait cependant pas dépasser +50 °C. Si tel est le cas, un mode de lubrification sans évacuation de la chaleur peut être adopté, par ex. une lubrification à la graisse ou par impulsion d'huile.

Pour notre vis , on a choisi des roulements avec les caractéristiques suivantes : Roulement à billes RLS18-2RS-ZEN – 58 x114.3x22.2 mm Poids 0.984 kg, Etanche à l'eau

REFERENCE No: RLS18-2RS		
inch series		
standard		
WORKING INFORMATION		
Radial Play (mm)	0.008 - 0.028	
Load Rating	C. dyn. N	52700
	C. stat. N	36000
Weight (g)	970	
Limiting Speeds (x1000rpm)	Grease	8.0
	Oil	-
DIMENSIONS (mm)		
d1	58 (mm) ^{0 -0.015}	2.250(inch)
inch fraction d1		2 1/4
d2	114.300(mm) ^{0 -0.015}	4.500(inch)
inch fraction d2		4 1/2
b	22.225(mm) ^{0 -0.02}	0.8750(inch)
inch fraction b		7/8
INNER DESIGN		
Part No.	Name	Material
04	Balls	AISI52100
02	Inner Ring	AISI52100
01	Outer Ring	AISI52100
68	Seals	NBR



V.5.3.5 - Transmission[36]

Une transmission est un dispositif mécanique qui permet de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Il existe plusieurs types de transmissions mais celle qui va nous intéresser plus particulièrement est la transmission par frottement qui s'applique sur les roues ,les courroies de transmission comme étant le rapport des vitesses du mouvement de sortie sur le mouvement d'entrée:

vitesse de sortie

$$R = \frac{\text{vitesse de sortie}}{\text{vitesse d'entrée}} \dots\dots\dots \text{Equation 6}$$

vitesse d'entrée

-PIGNON

Un pignon est une pièce mécanique pouvant avoir différentes utilisations :

- En mécanique ,c'est un disque d'acier comportant des dents à sa périphérie .On retrouve les pignons principalement dans les engrenages et les transmissions à chaîne
- Dans le cadre de l'horlogerie c'est un axe denté fixé à une roue
- Dans les engrenages

.Le principe de fonctionnement du pignon et de la chaîne est très simple.

Le pignon de sorti, en tournant, entraîne la chaîne qui entraîne le plateau.

-LA CHAÎNE

Une chaîne est une suite de maillons assemblé en acier.

.En athlétisme la chaîne est un élément mécanique fermé servant à transmettre un mouvement sans glissement entre le pédalier et la roue arrière , appelé "roue motrice"

V.5.3.5.1- Principales caractéristiques

-Rapport de transmission constant (pas de glissement).

-Longues durées de vie.

-Aptitude à entraîner plusieurs arbres récepteurs en même temps à partir d'une même source.

-Sont essentiellement utilisées aux « basses » vitesses (moins de 13 m/s pour les chaînes à rouleaux, moins de 20 m/s pour les chaînes silencieuses).

-Montage et entretien plus simples que celui des engrenages et prix de revient moins élevé.

V.5.3.5.2- Comparaison avec les courroies

-Sont plus bruyantes.

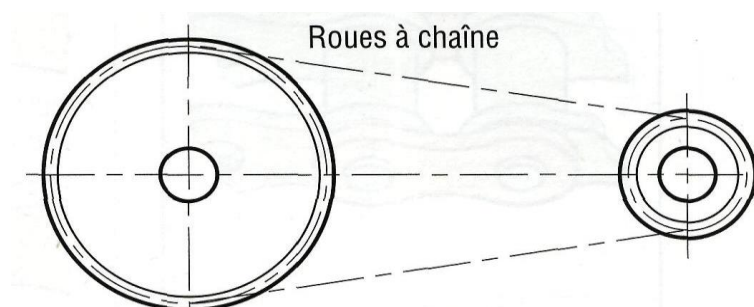
-Présentent des durées de vie plus élevées.

-Supportent des forces de tension plus élevées.

-« Tournent » moins vite.

-Supportent des conditions de travail plus rudes (températures plus élevées...).

-Nécessitent une lubrification.



23a. Dessin normalisé NF EN ISO 2203.

V.5.3.5.3- Chaînes à rouleaux

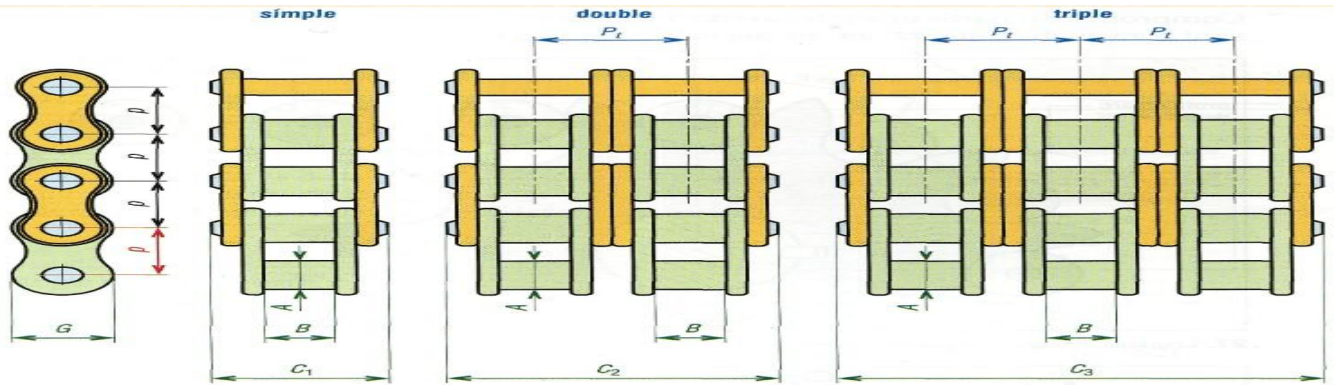


FIG V.18 : 23b. Dimensions des chaînes à rouleaux (NF ISO 606).

Désignation : 16B-1 (simple) ; 16B-2 (chaîne double).

Tableau V.6: Caractéristiques des principales chaînes à rouleaux (NF ISO 606)

symbole	pas p mm	A mm	B mm	P_t mm	G mm	C_1 mm	C_2 mm	C_3 mm	rupture en traction (daN)		
									simple	double	triple
05B	8	5,00	3,00	5,64	7,11	8,6	14,3	19,9	440	785	1 110
06B	9,52	6,35	5,72	10,24	8,26	13,5	23,8	34,0	895	1 690	2 490
08B	12,7	8,51	7,75	13,92	11,81	17,0	31,0	44,9	1 780	3 110	4 450
10B	15,87	10,16	9,65	16,59	14,73	19,6	36,2	52,8	2 220	4 450	6 670
12B	19,05	12,07	11,68	19,46	16,13	22,7	42,2	61,7	2 890	5 780	8 670
16B	25,40	15,88	17,02	31,88	21,08	36,1	68,0	99,9	6 000	10 600	16 000
20B	31,75	19,05	19,56	36,45	26,42	43,2	79,7	116,1	9 500	17 000	25 000
N° 40 ou 08A	12,7	7,92	7,85	14,38	12,07	17,8	32,3	46,7	1 380	2 760	4 140
N° 50 ou 10A	15,87	10,16	9,40	18,11	15,09	21,8	39,9	57,9	2 180	4 360	6 540
N° 60 ou 12A	19,05	11,91	12,57	22,78	18,08	26,9	49,8	72,6	3 110	6 230	9 340
N° 80 ou 16A	25,4	15,88	15,75	29,29	24,13	33,5	62,7	91,9	5 560	11 120	16 680
N° 100 ou 20A	31,75	19,05	18,90	35,76	30,2	41,1	77,0	113,0	8 670	17 350	26 020
N° 120 ou 24A	38,1	22,23	25,22	45,44	36,2	50,8	96,3	141,7	12 460	24 910	37 370

Les chaînes à rouleaux sont les plus utilisées en transmission de puissance ; elles ont des vitesses limites de 12 à 15 m/s ; leurs rapports limites de transmission vont de 6 à 9.

Configuration usuelle : chaîne et roues dans un même plan vertical (dans un plan horizontal la chaîne « saute »). La série A(08A...) est d'origine USA, la B européenne.

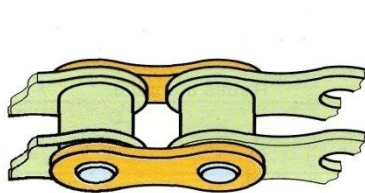


FIG V19 : Chaîne à rouleaux.

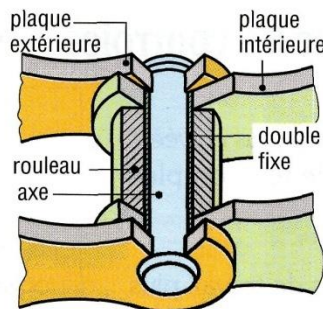


FIG V20 : Principaux constituants.

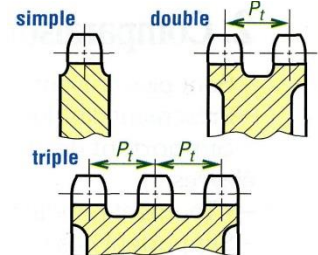


FIG V21 : Principales dimensions.

- Choix du pignon

- Pour notre travail , on a choisi une chaine doublée avec un pas de 12 mm accordée à deux pignons. Le premier au niveau de moteur (D1 = 80mm) doublé , allésé et claveté à l'intérieur pour permettre le montage.

Un motoréducteur d'un arbre (D = 40mm) et un clavète 10x10x 4

Et d'autre côté : un pignon doublé de diamètre extérieure (D2=200mm) et un pas de 12 mm pour démunie la vitesse de la vis sans fin et multiple le couple.

- Diamètre de la vis D= 58 mm
- Un clavette de : 10 x10 x6 mm

V.4.7- Partie électrique de l'extrudeuse

V.4.7.1- Groupe d'entraînement (Motoréducteur)[37]

C'est la partie responsable de la rotation de la vis. Le contrôle du débit de matière plastique sortante de la buse se fait par un moteur à vitesse variable contrôlable, donc on a utilisé un système composé d'un moteur réducteur et d'un diviseur de couple, qui fournissent la puissance mécanique nécessaire. D'après les recherches qu'on a faites, la vitesse de rotation doit être autour de 30 tour/min,

- Le réducteur est rendu nécessaire pour réduire la vitesse de rotation des moteurs électriques.
- L'utilisation du motoréducteur dans notre installation actuelle est de réduire la vitesse du moteur de vis d'extrusion.
- Pour notre travail, On a décidé d'utiliser le type de motoréducteur suivant :



	* Ø [mm]	Valeur de couple M ₂ [Nm]	Rapport de réduction	
		Max	Min	Max
H030	25	200	4,70	245,70
H040	19 - 30	300	1,44	282,10
H050	24 - 35	500	1,27	267,65
H060	28 - 40	850	1,34	268,00
H080	38 - 50	1.800	1,30	222,78
H100	48 - 60	3.600	1,29	242,59
H125	55 - 70	5.000	1,23	230,92
H140	90	8.000	5,27	206,08

* Le diamètre de l'arbre lent peut changer selon le nombre de train du réducteur

- Disponible en 4 poles triphasé de 0,12 kW à 45 kW
- Rapports de réduction compris entre 1,23 et 282,10
- Valeur de couple max 8.000 Nm
- Charge radiale maximale admissible 55.000 N

FIGV.22 : Motoréducteur

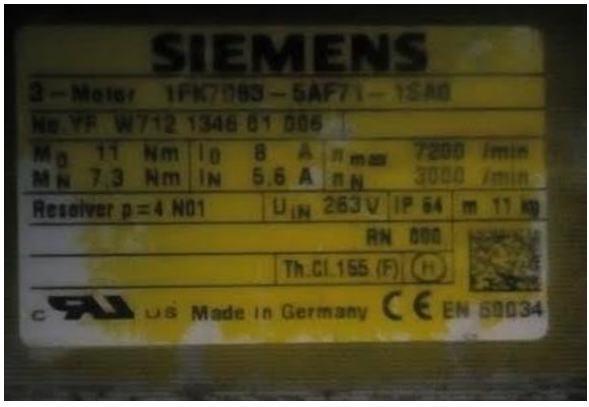
La puissance moteur : elle est fournie par l'équation suivante :
 $P = C \times \Omega$ Equation 7

- P : La puissance en W

- C : Le couple en N.m
- Ω : La vitesse de rotation de la vis en rad/s
- L'énergie spécifique : elle est définie par le rapport de la puissance et du débit massique.

$$P_{SME} = \frac{P}{Q} \dots \dots \dots \text{Equation 8}$$

- SME : Specific Mechanical Energy en kW.h/t
- P : La puissance en kW
- Q : Le débit en t/h

<p>Diamètre de l'arbre réducteur : $D = 40\text{mm}$</p> <p>Le couple : $C = 850\text{n/m}$</p> <p>Rapport de réduction : $R1 = 40$</p> <p>Vitesse du moteur : $V_{min} = 3000\text{tr/min}$</p> <p>La vitesse de réducteur $= 3000/40 = 75 \text{ tr/min}$</p> <p>$V_r = 75 \text{ tr/min}$</p> <p>Report $R2 = D2/D1$</p> <p style="padding-left: 40px;">$R2 = 200/80$</p> <p>$R2 = 2.5$</p> <p>Vitesse de la vis $V = V_r/R2$</p> <p style="padding-left: 40px;">$V = 75/2.5$</p> <p style="padding-left: 40px;">$V = 30\text{tr/min}$</p>	
---	---

V.4.7.2 – Accouplement élastique (couple nominale à transmettre)

Le couple nominal est le principal facteur de dimensionnement des accouplements des arbres et des machines qui lui sont directement reliés. Le couple nominal à transmettre est fonction de la puissance nominale à transmettre et de la vitesse de rotation.

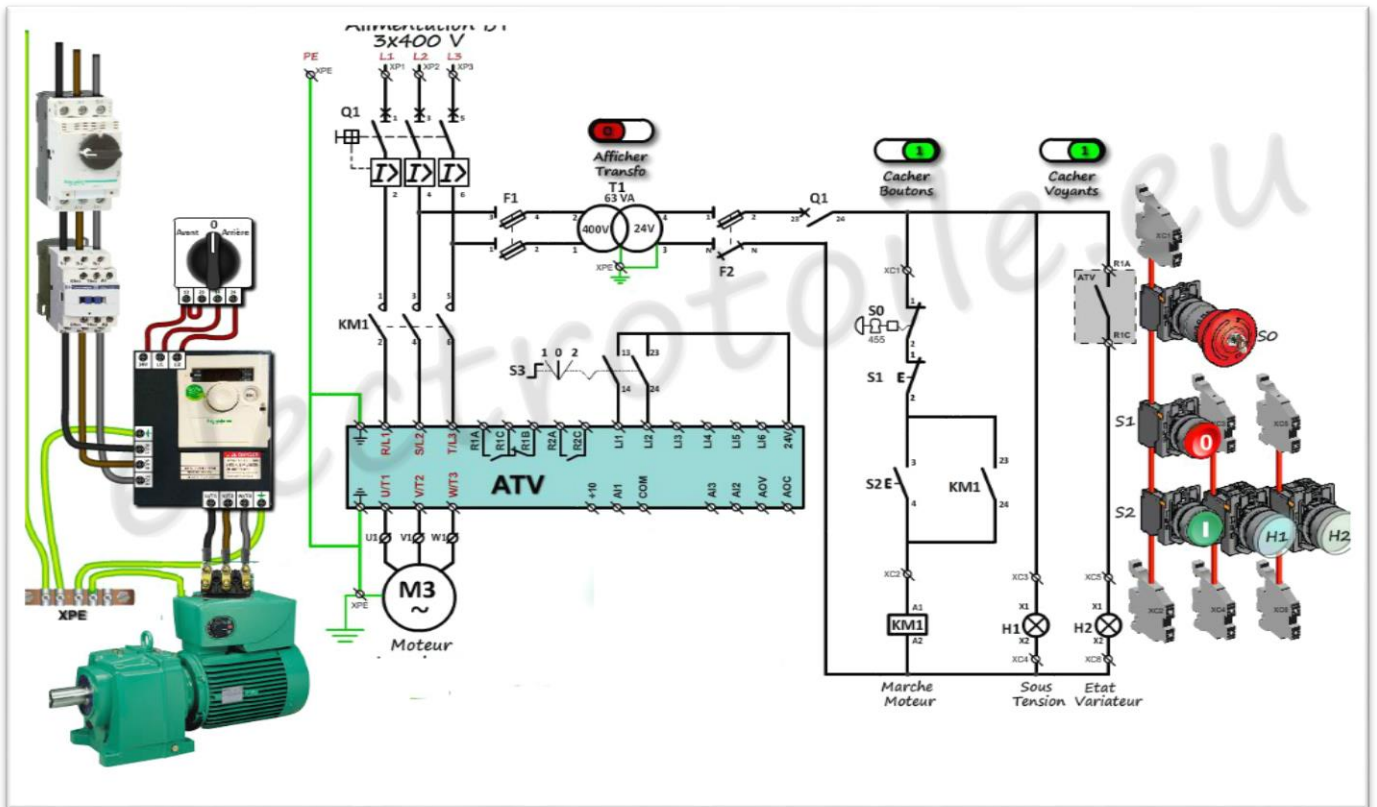
$$C \text{ (N.m)} = \frac{9550 \cdot XP}{N} \dots \dots \dots \text{Equation 9}$$

C : couple exprimé en (Nm)

P : la puissance nominale à transmettre est celle de la machine menante , exprimée en kW ou chevaux (ch)

N : la vitesse de rotation exprimée en tr/min est celle de la machine menante et doit être inférieure à la vitesse maximale admise par l'accouplement.

V.4.7.2 – schéma électrique de Motorréducteur



FIGV.23 : schéma électrique de Motorréducteur

V.4.7.2 - Régulateur de Température

Un régulateur de température est un appareil de contrôle de température. Il est relié à son entrée avec un capteur de température, tel qu'un thermocouple ou RTD, un système qui compare la température du milieu existant avec la température de régulation désirée, et comme sortie il est branché à un élément de commande, tel qu'un dispositif de ventilation ou de chauffage. Tout cela pour avoir un contrôle de température précis et sans intervention humaine. [38]

V.4.7.3 - Thermocouple

La transformation de l'effet de refroidissement ou l'effet de réchauffement en signal électrique s'effectue par des capteurs de mesure de température tout en basant sur l'effet de Seebeck.

V.4.7.4 - Principe de fonctionnement

Un thermocouple utilise principalement l'effet Seebeck afin d'obtenir une mesure de la température. Si on réunit à une extrémité deux fils métalliques de natures différentes et que l'on élève la température de cette extrémité, il apparaît une tension e_{AB} aux extrémités restées libres.

Il est possible de déterminer la température de l'extrémité chauffée à partir de la mesure de e_{AB}

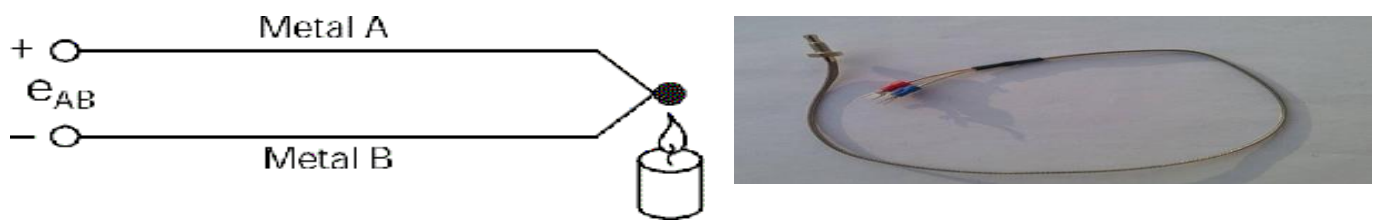
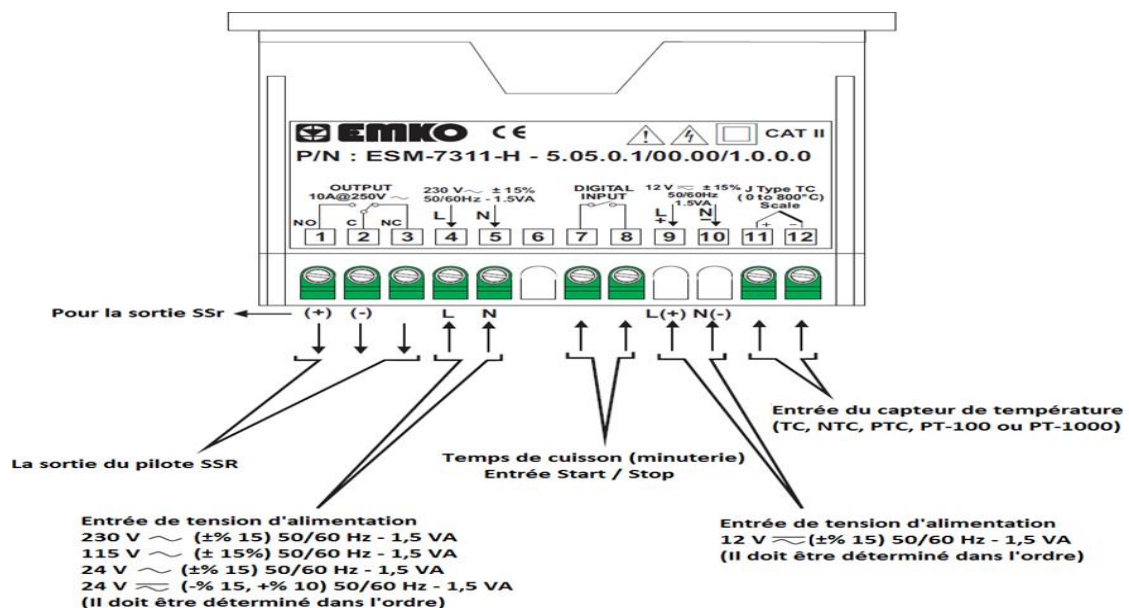


FIG V.24 : THERMOCOUPLE

V.4.7.5 - Diagramme de câblage électrique

Le câblage électrique de l'appareil doit être identique à 'Diagramme de câblage électrique' ci-dessous pour éviter d'endommager le processus en cours de contrôle et les blessures corporelles.



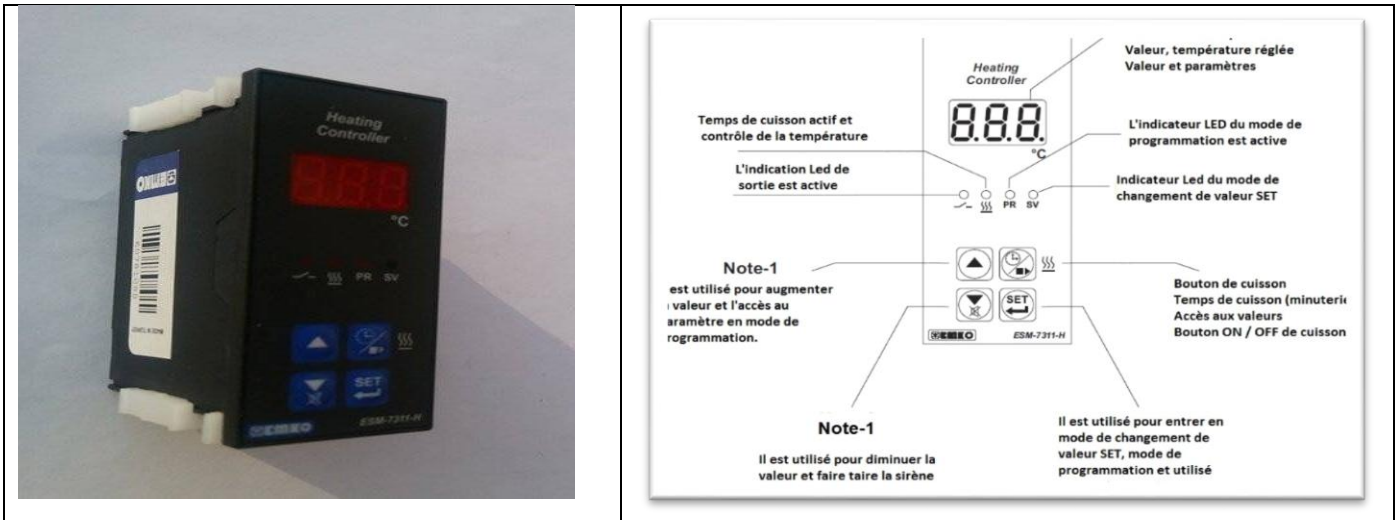


FIG V.25: régulateur de température

V.4.7.6 - Relais Statique

Un relais statique (SSR) ou contacteur statique (SSC) est un composant électronique qui commute une puissance (CA ou CC) à une charge et assure une isolation électrique entre le circuit d'alimentation et le circuit de charge. C'est une technologie en compétition aux relais électromécaniques [39]



Figure V.26 : relais statique

V.4.7.7 - Collier chauffant

Les colliers chauffants sont des éléments, de diamètres et hauteurs variés, destinés au chauffage et au maintien en température de pièces cylindriques.

Les transferts de chaleur entre le collier et la pièce à chauffer, se font principalement par conduction, Ils peuvent chauffer aussi bien les solides, que les liquides ou les gaz.

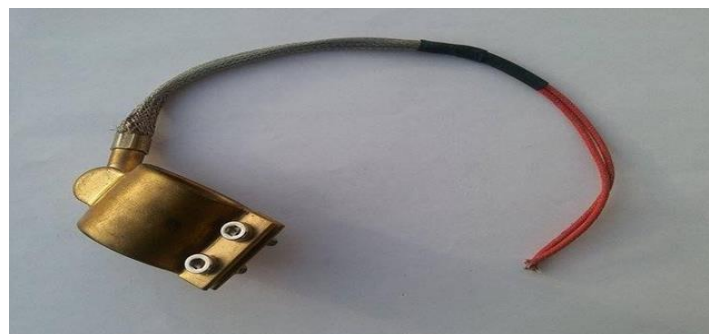
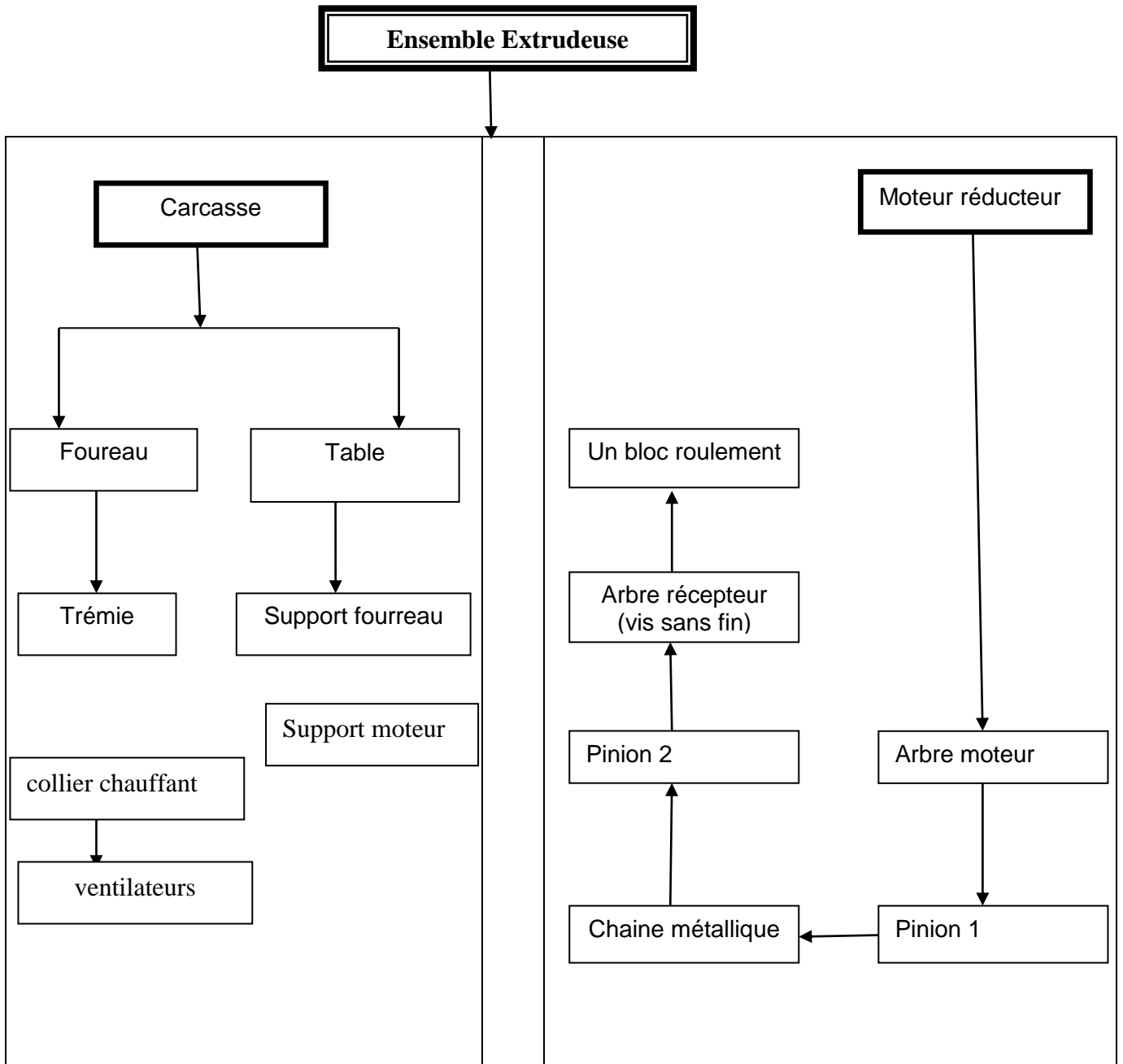


Figure V.27 : collier chauffant

V.5 - Organisme d'extrudeuse à réaliser



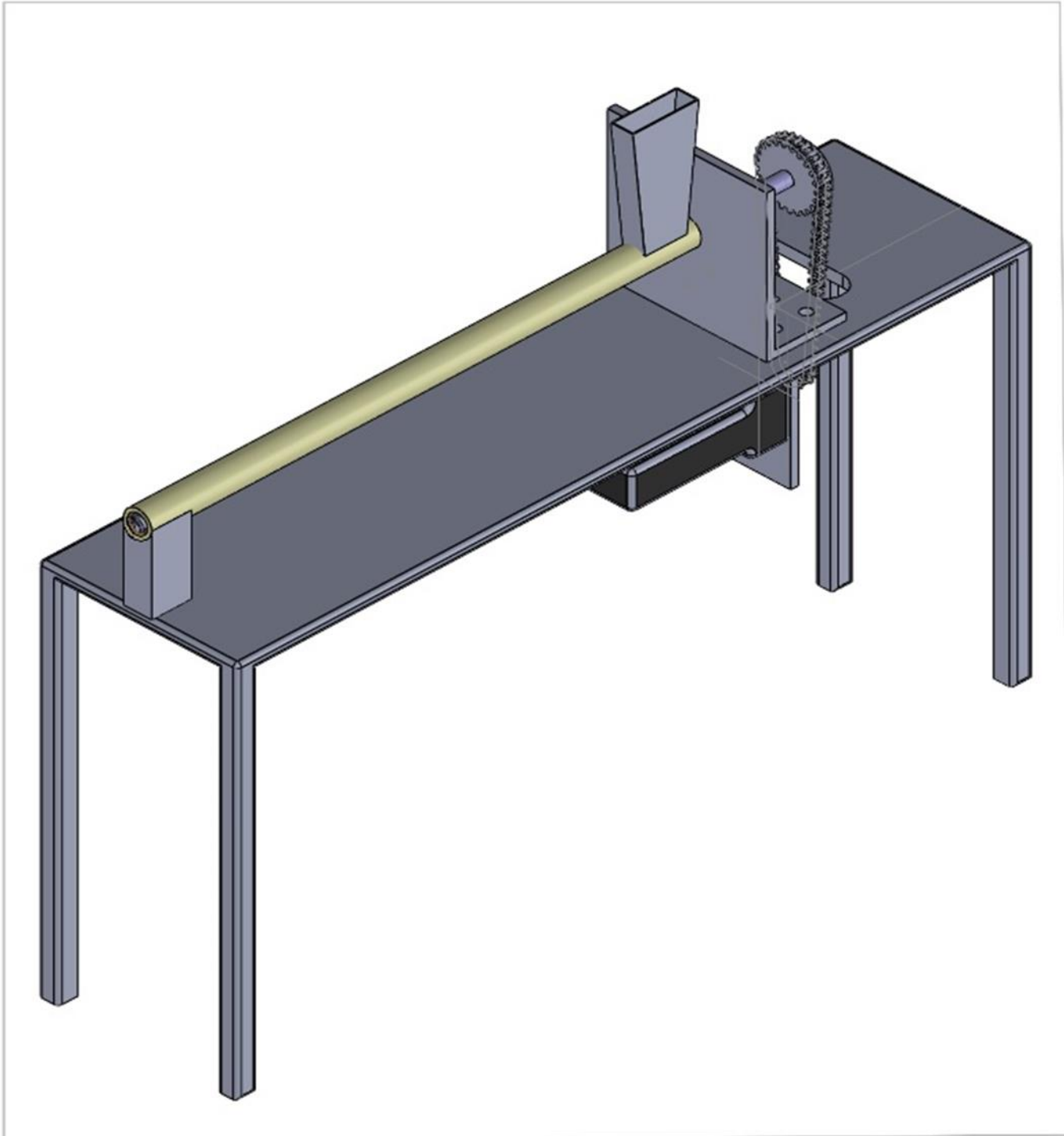
FIGV.28 : Organisme d'extrudeuse

- En général, une extrudeuse se compose des éléments suivants :

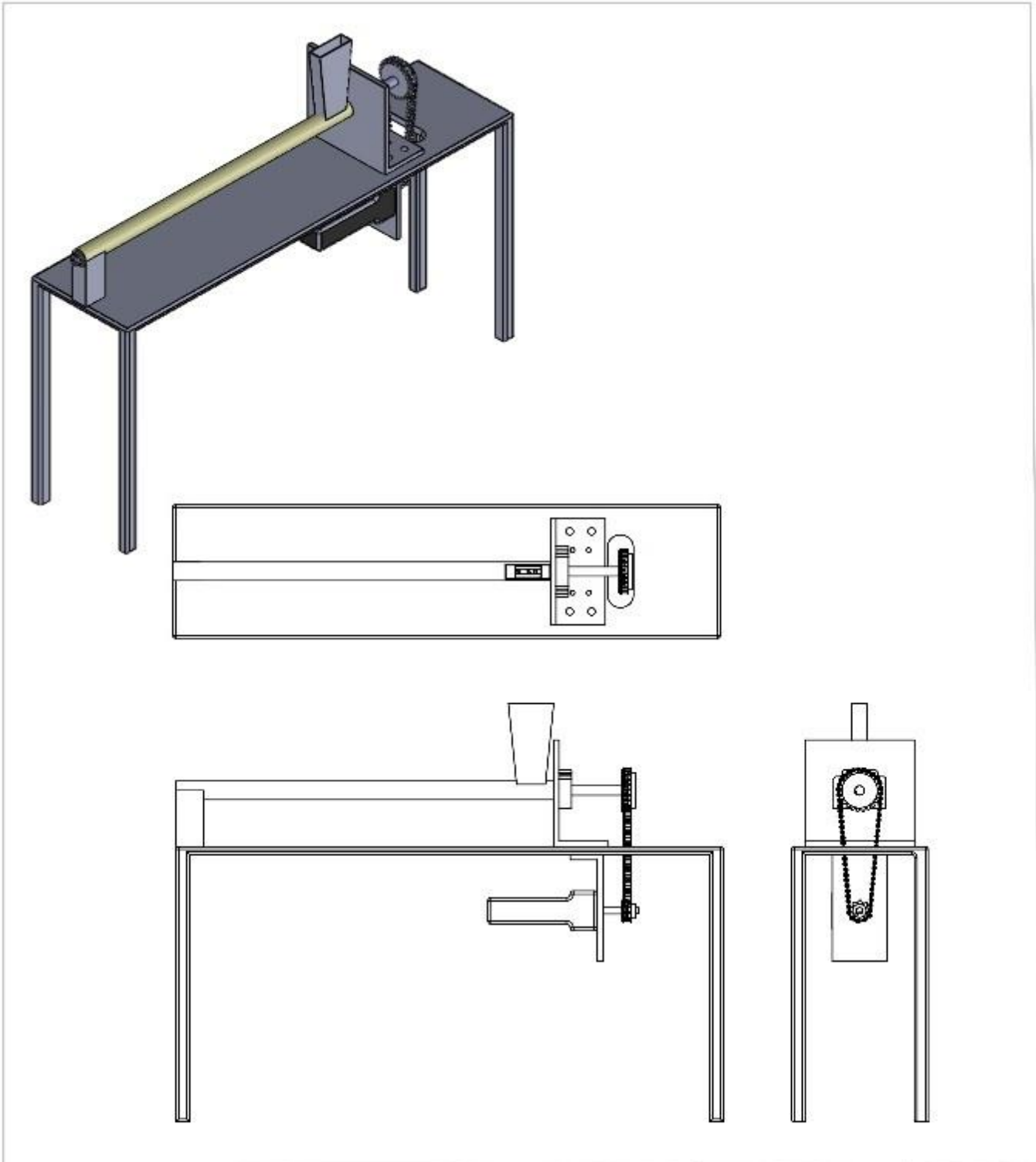
Tableau V.7: les composants de la machine extrudeuse

Les composants	Leurs fonctions
1. La table	- Sert à rassembler la machine extrudeuse
2. Support fourreau	- Plaque métallique Sert à fixer le fourreau.
3. Fourreau	- Cylindre à l'intérieur duquel se trouve la vis sans fin.
4. Bloc roulement	- Utiliser pour supporter et guider ,en rotation , des arbres de transmission
5. Collier chauffant	- Sert à chauffer le fourreau
6. Support moteur	- Sert à fixer le moto réducteur au dessus de la table
7. Une filière	- Utiliser pour la mise en forme de produit et éventuellement un dispositif de découpe de produit en sortie de la machine.
8. Chaine métallique	- Sert à transmettre un mouvement sans glissement entre deux roues.
9. Pignon motrice	- un disque d'acier comportant des dents à sa périphérie .On le retrouve dans le transmission à chaine.
10. Ventilateurs	- Sert à refroidir les trois zones du fourreau
12. Vis sans fin	- Sert à entraîner , cisailer et fondre la résine.
13. Motoréducteur	- Sert ç donner le mouvement de rotation à la vis.
14. Trémie	- Sert de réservoir pour la résine sous forme de granulé.
15. Support (2) du fourreau	- Sert à supporter le fourreau à la fin de la table.

V.5.1 - Dessin d'ensemble de l'extrudeuse

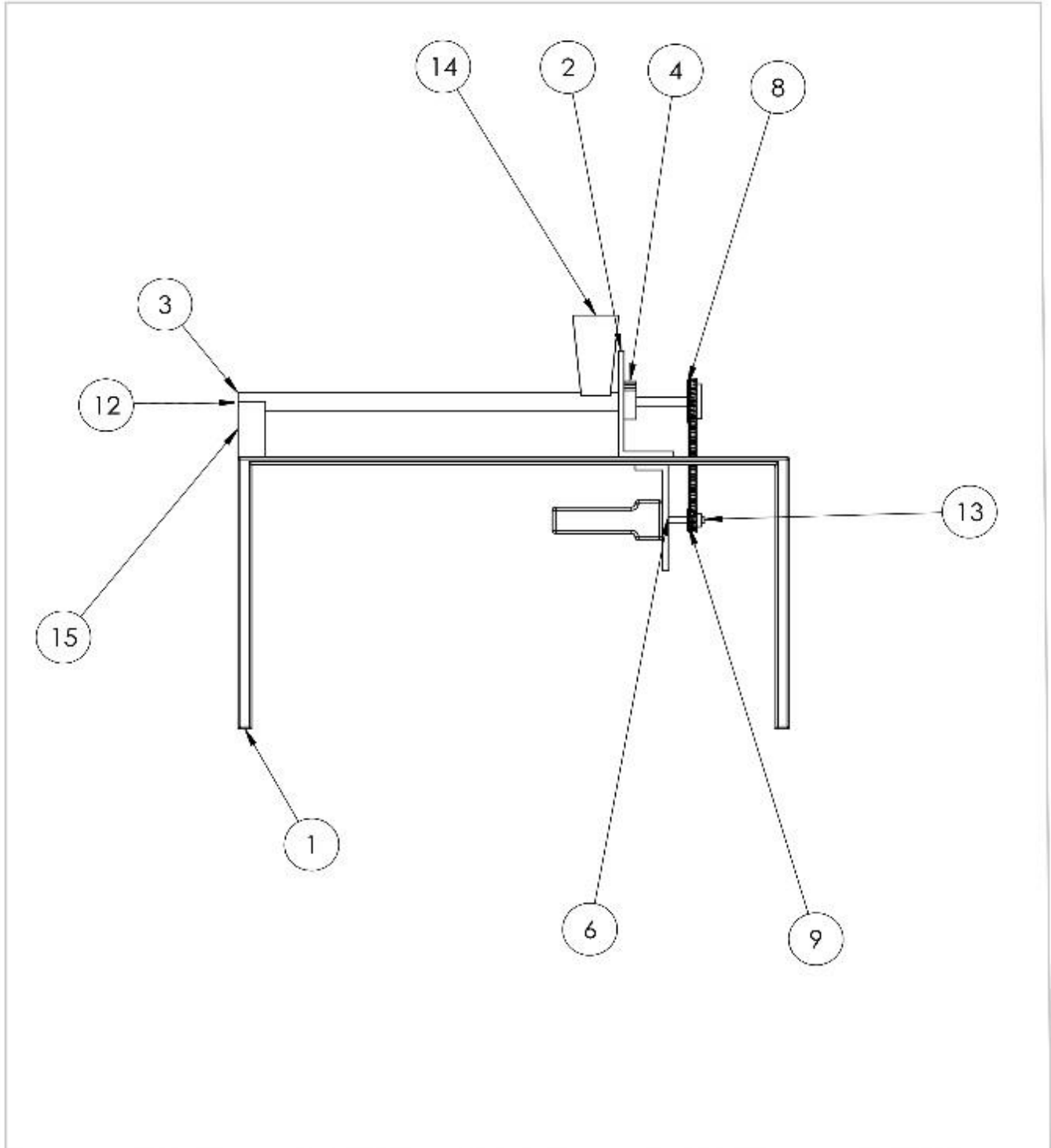


Rep	NB	Designation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
		TITRE: <h3 style="text-align: center;">Extrudeuse mono-vis</h3>			Dessine par : BOUZINA Yacine
Format echelle	A4 ECHELLE:1:50	NO. DE PLAN Université Mohamed BOUDIAF Msila			
MASSE	MASSE:				
DATE	14-06-2020				



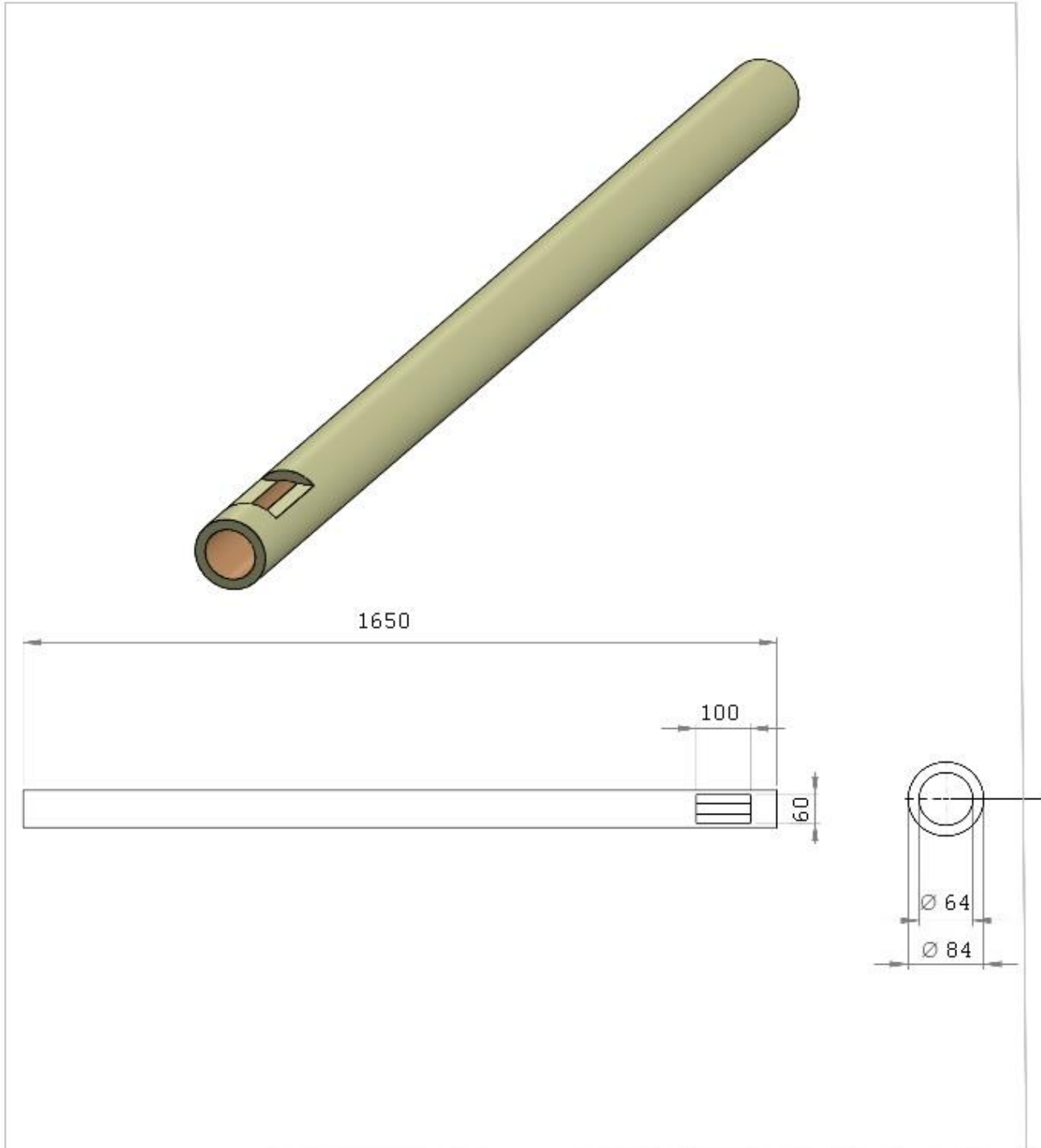
Rep	NB	Designiation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
Format	A4	TITRE Vues extrudeuse mono-vis			Dessine par : BOUZINA Yacine
echelle	EC-ELLE:1:50				
MASSE	MASSE	No. DE PLAN Université Mohamed BOUDIAF Msila			
DATE	14-06-2020				

V.5.2 - Schéma cinématique de l'extrudeuse (Tableau V.7)

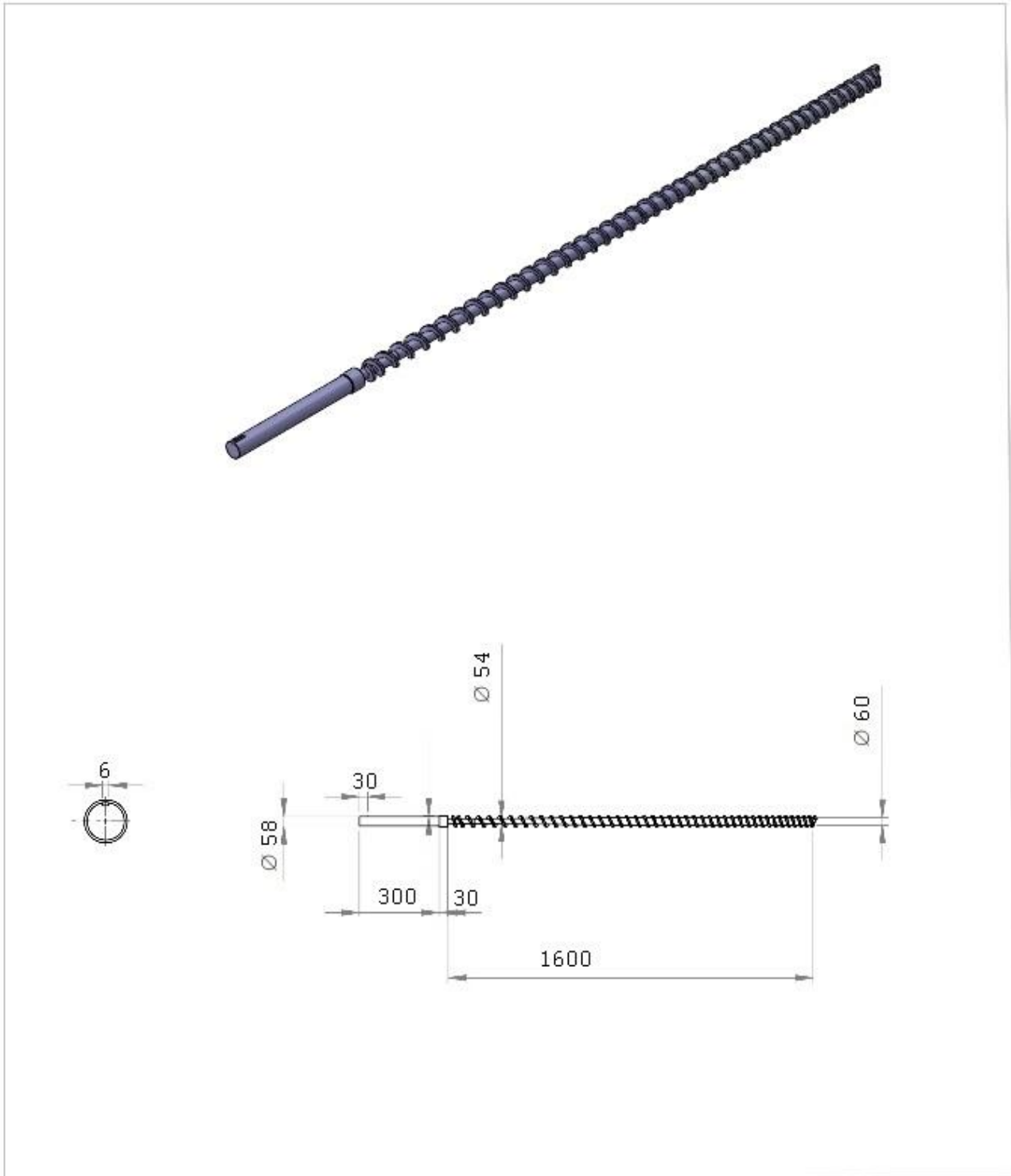


Rep	NB	Designation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
		TITRE: Extrudeuse mono-vis			Dessine par : BOUZINA Yacine
Format echelle	A4 ECHELLE: 1:100	NO. DE PLAN			
MASSE	MASSE:	Université Mohamed BOUDIAF Msila			
DATE	14-06-2020				

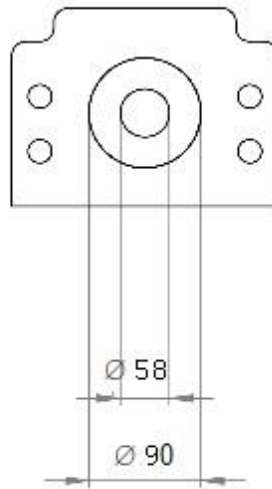
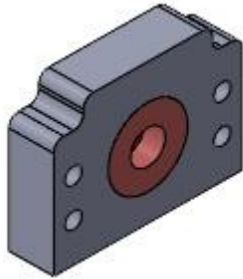
V.5.2.1- Dessin de définition des éléments principaux de l'extrudeuse



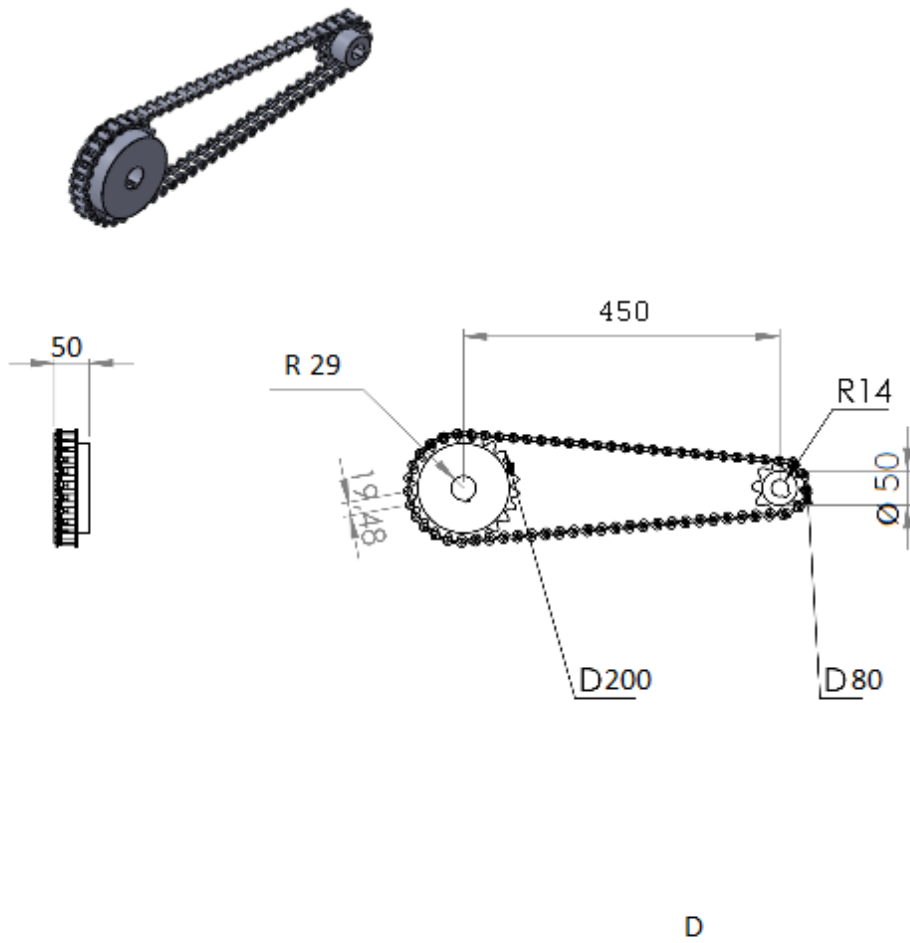
Rep	NB	Designiation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
		TITRE: <h2 style="text-align: center;">fourreau</h2>			Dessine par : Yacine BOUZINA
Format	A4	No. DE PLAN			
echelle	RC-FILIPINSE				
MASSE	MASSC:	Université Mohamed BOUDIAF Msila			
DATE					



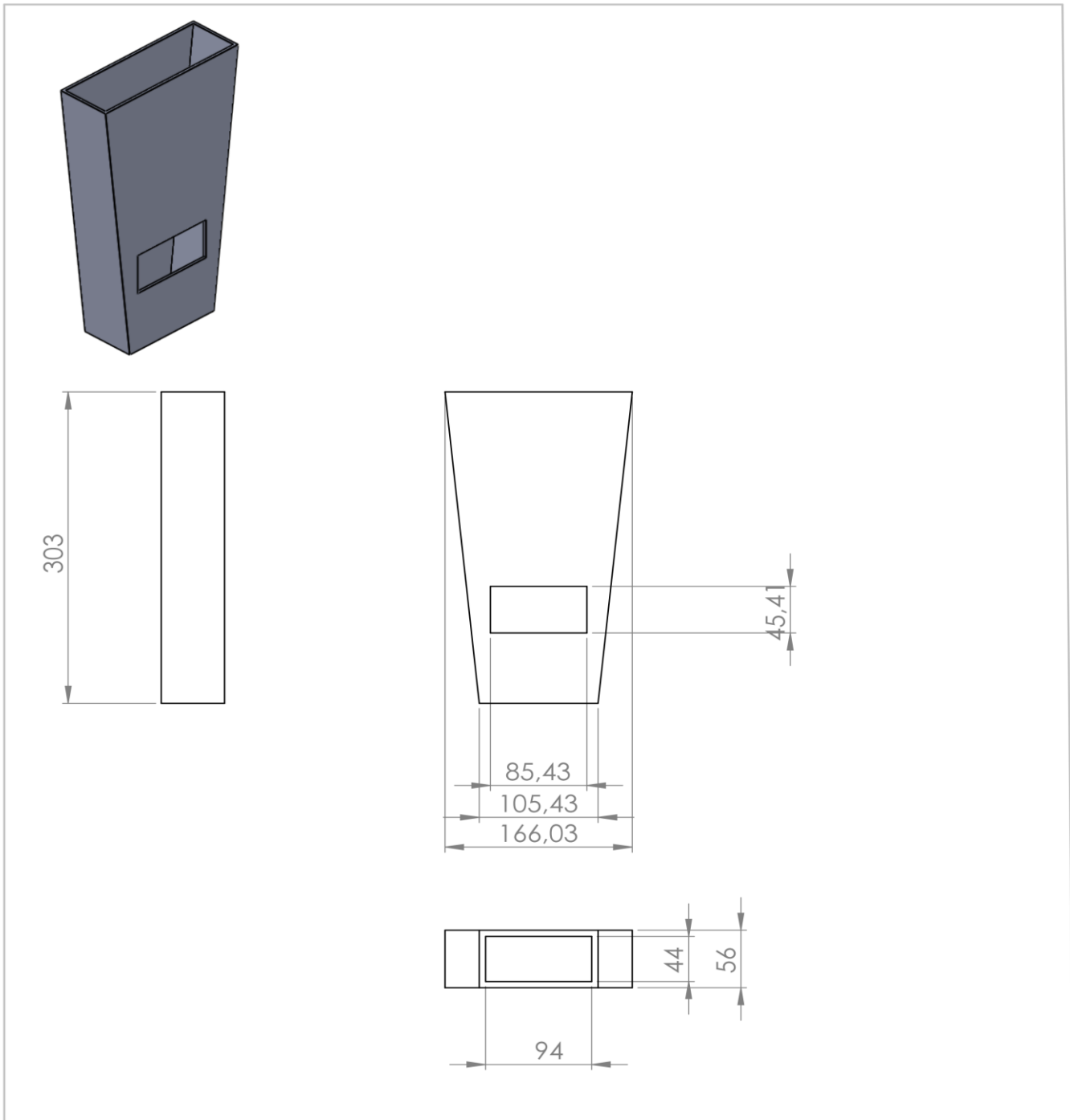
Rep	NB	Designation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
		TITRE: vis sans fin			Dessine par : BOUZINA Yacine
Format echelle	A4 ECHELLE: 20	No. DE PLAN			
MASSE	MASSE	Université Mohamed BOUDIAF Msila			
DATE					



Rep	NB	Designiation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
		TITRE: bloc roulement			Dessine par : Yacine BOUZINA
Format	A4	No. DE PLAN			
echelle	ECH. 1/1.5	Université Mohamed BOUDIAF Msila			
MASSE	MASSE:				
DATE	14-06-2020				



Rep	NB	Designiation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
		TITRE: CHAINE PIGNON			Dessine par : BOUZINA Yacine
Format	A4	No. DE PLAN			
echelle	ECHELLE: 1/10	Université Mohamed BOUDIAF Msila			
MASSE	MASSE:				
DATE	14-06-2020				



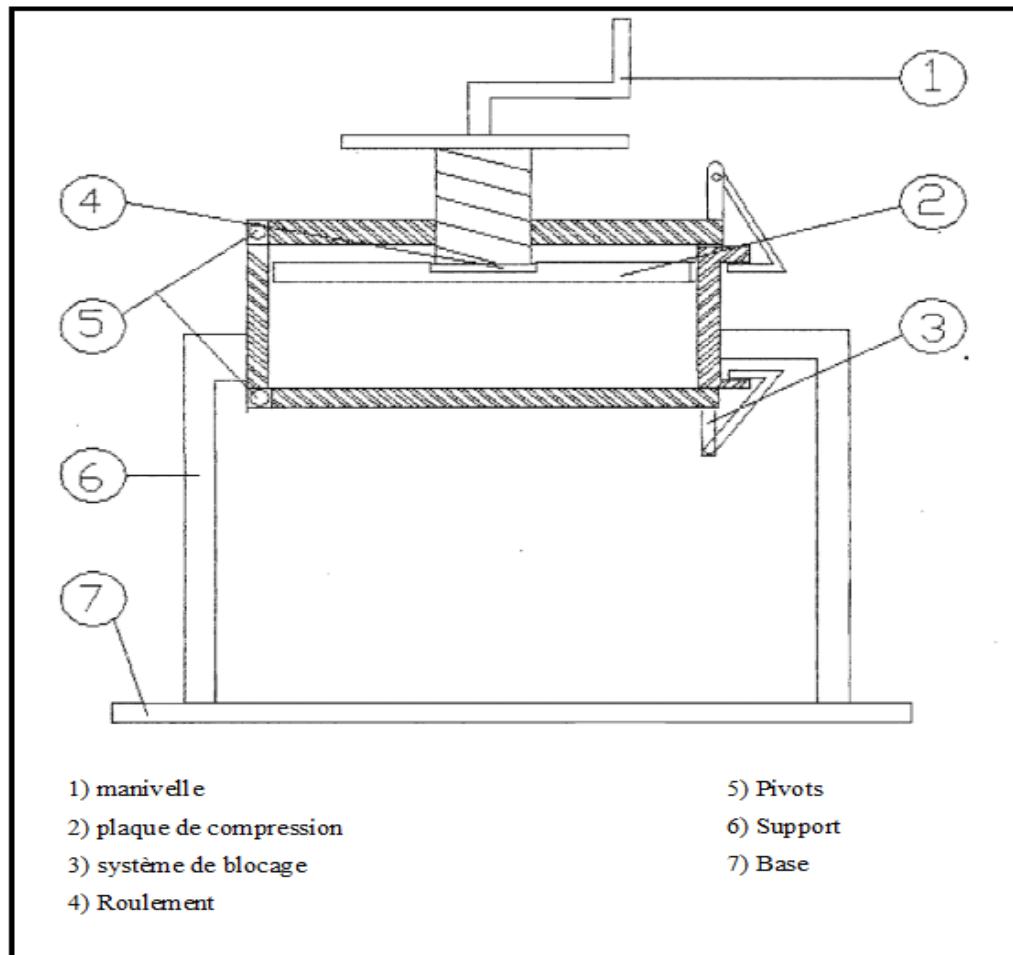
Rep	NB	Designiation	MATERIAU	Tol gen +/-0.2	Reference
				Observation	
		TITRE: Trémie			Dessine par : Yacine BOUZINA
Format echelle	A4 ECHELLE:1:5	No. DE PLAN			
MASSE	MASSE:	Université Mohamed BOUDIAF Msila			
DATE	14-06-2020				

V.6 - Presse et moule

V.6.1 - Presse manuelle

Pour la mise en forme, le mélange est mis dans un moule de la presse manuelle puis comprimé, le compactage est assuré par une plaque dont le déplacement est contrôlé par la rotation d'une grande vis. La liaison entre la plaque et la vis se fait via un roulement (4) pouvant supporter forces axiales. Le mouvement de rotation est donné à la vis au moyen d'une manivelle placée à sa partie supérieure partie, c'est aussi possible grâce au taraudage effectué au milieu du couvercle supérieur du moule. Le démoulage se fait par le bas par le même procédé utilisé lors de la compression. Le haut et les couvercles inférieurs peuvent pivoter autour des pivots et leur fermeture se fait par des crochets. (6)

La presse possède un niveau de réglage permettant de choisir l'épaisseur des échantillons.



FIGV.29: presse manuelle

V.7 – conclusion

Les matières premières utilisées pour l'élaboration des échantillons sont le sable, et les déchets plastiques (PEHD) comme liant. La parfaite connaissance de ces matières premières passe par leur caractérisation. C'est ainsi que les analyses granulométriques, minéralogiques et thermiques ont été effectuées.

La description du matériel utilisé pour la caractérisation a permis de comprendre le mode de fonctionnement de chaque machine.

La caractérisation des matières premières se résume en l'analyse granulométrique du sable et la mesure de la densité du plastique.

Au fil du temps, la technologie d'extrusion mono-vis est devenue incontournable dans plusieurs industries car elle offre de nombreux avantages par rapport aux autres machines..

Au cours de notre étude de l'unité de recyclage de matière plastique (broyeur – extrudeuse) on a constaté une grande richesse de la matière première tel, le sable et le déchet plastique dans notre région M'sila ; celle - ci nous a encouragé encore de faire la réalisation de ces deux importantes machines prochainement.

CHAPITRE VI
Comparaison des travaux réalisés par
l'extrudeuse Mono-vis

VI.1- Introduction

Dans ce chapitre, une analyse des travaux déjà réalisés dans le domaine du béton polymère à matrice organique thermoplastique est présentée. Etant donné que les travaux dans ce domaine sont assez importants, dans ce qui suit, l'analyse du comportement mécanique est basée principalement sur le regroupement en raison de comparaison des travaux ayant en point commun une approche expérimentale similaire à notre travail.

VI.2- Analyse des travaux dans le domaine du Béton Polymère à liant *thermoplastique*

VI.2.1- le comportement du BP

Dans le cadre du développement de nouveaux matériaux, ainsi motivée par la propriété de recyclage des thermoplastiques, **Kossi Bollanigni AMEY et al.**[40] a formulé des mortiers polymères à base de sable silteux en utilisant des sachets plastiques en polyéthylène (PE) . Pour comparaison, l'intéressée a reformulé , pour les mesures de flexion, 36 éprouvettes de dimensions 4cmx4cmx16cm sont soumises à l'essai de flexion trois points . Dans cette étude, **Kossi Bollanigni AMEY et al.**[40] a caractérisé au premier lieu Le sable silteux. le sable silteux utilisé est un sable très fin et argileux. Les propriétés de ce sable sont conformes aux comportements globaux des sables silteux au Togo [41].

De plus, le Tableau VI.1 représente les caractéristiques du sable et des sachets plastiques utilisés. **Kossi Bollanigni AMEY et al** constatent que ce sable a les propriétés des sables non autorisés pour les bétons hydrauliques si la résistance est recherchée; aussi ces bétons sont sujets de retrait ou de gonflement [42-43]. Le sable a une densité absolue forte de 2,63 par rapport à celle du liant de sachets fondus qui n'est que de 0,89., il est disponible dans le site d'extraction d'Aképe- Idavé situé à 20 km au Nord-Ouest de Lomé sur la nationale N° 2 .

Tableau VI.1 : Caractéristiques du sable et des sachets plastiques

Matériaux	Sachet plastique		Sable silteux		
	Densité absolue	Densité apparente	Densité absolue	Equivalent de sable (ES)	Module de finesse (Mf)
Grandeurs	0,89	1,60	2,63	52	1,80

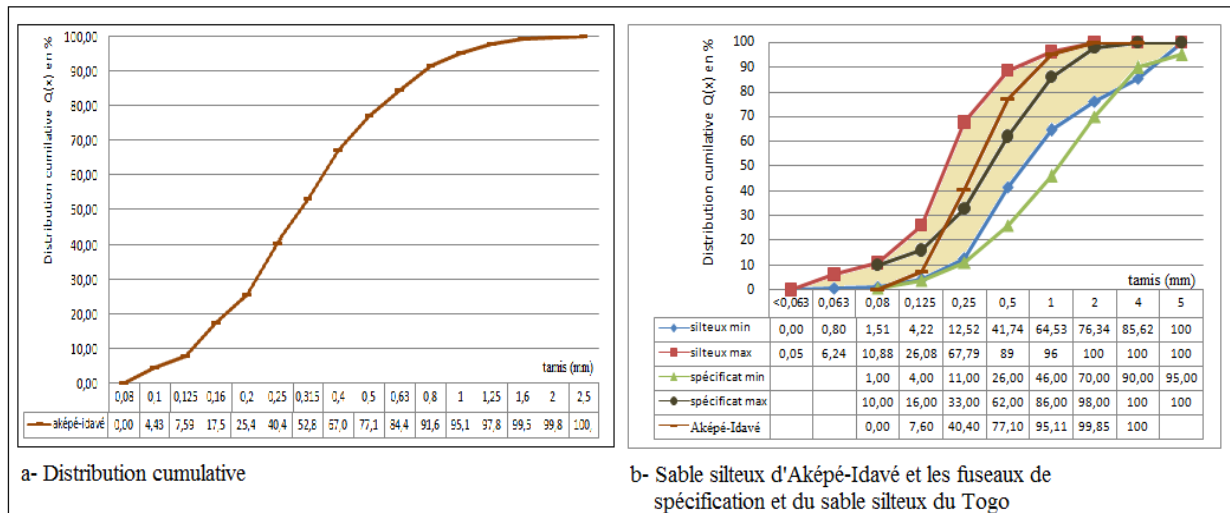


FIG VI.1 : Distribution granulométrique du sable utilisé

Comme liant, [Kossi Bollanigni AMEY et al.](#)[40] a utilisé les sachets plastiques en polyéthylène (PE) [2] d'emballage de l'eau de type « pure water » et de la marque « voltic » produit au Togo.

Les sachets plastiques sont collectés dans des ménages à Lomé, ils subissent ensuite la fusion dans le système « cuve-chauffante » du mini-malaxeur à enrobé de marque HOBART. Le produit obtenu a subi l'essai de densité par la méthode de déplacement de liquide. Des essais de densités apparente, absolue, de détermination de propreté et de tamisage sont faits sur les sables silteux prélevés dans la carrière de Aképé-Idavé conformément aux normes NF EN [44-45]. Les produits issus de la fusion des sachets sont pesés à des proportions de 7% et 8% à 28% à des pas de 2% de la masse du sable silteux. Les différentes masses de liants préalablement fondus sont malaxés avec les sables dans le mini malaxeur à enrobé (**FIG VI.2 a**). Les matériaux composites faits de liant de sachets fondus et de sable silteux sont ensuite moulés dans les moules 4cmx4cmx16cm puis vibrés à partir de l'appareil à secousses (**FIG VI.2b**).

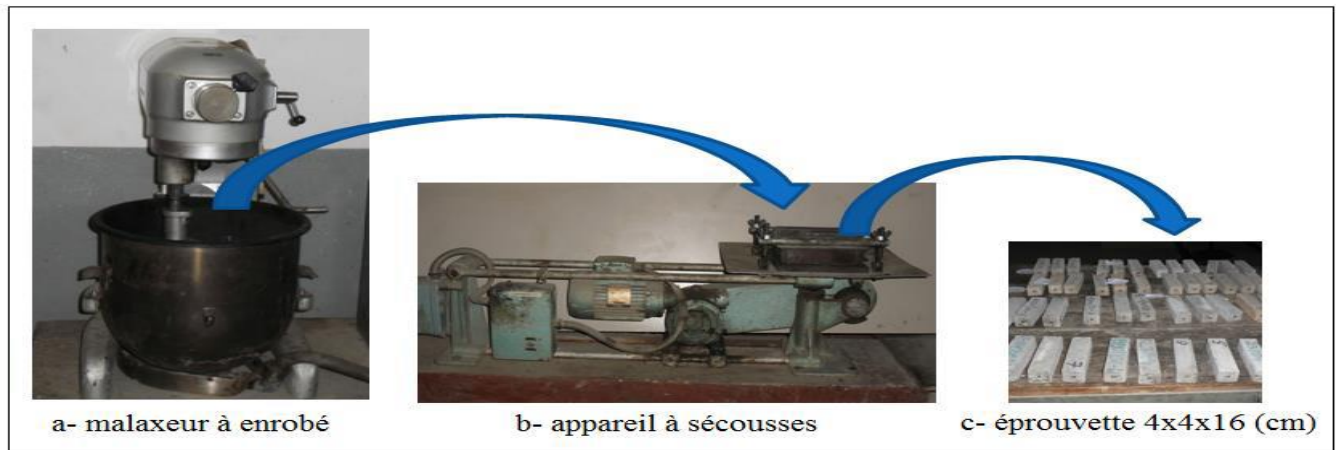


FIG VI.2 : Dispositif expérimental de préparation des éprouvettes

Les produits obtenus, à des taux de liants de 7% à 28% et démoulés après 24 h, sont soumis aux essais mécaniques sur la presse de marque PERIER (**FIG VI.3**) pour la détermination des résistances dont les lectures des forces appliquées se font sur un cadran et des déformations à partir d'un comparateur.

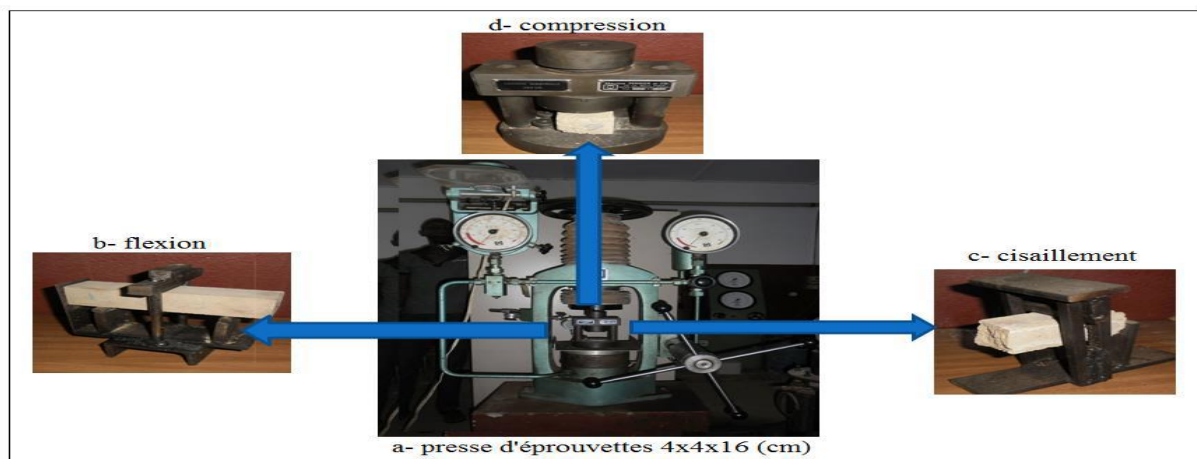


FIG VI.3 : Dispositif expérimental de détermination de propriétés mécaniques

Kossi Bollanigni AMEY et al.[40] ont optimisé le taux de en polyéthylène (PE) dans le béton de sable sable silteux /PE. Cette auteur a utilisé les différents taux suivants : 7% - 8% - 10% - 16% - 20% - 22% - 28%.

Il ressort du tableau 1 et des **Figures 4 à 8** que :

la densité des éprouvettes croît pour des teneurs en liant inférieures à 10% et décroît pour des valeurs supérieures à cette valeur 10% avec un optimum de 1,9 (**FIG VI.4**). La croissance pour des teneurs en deçà de 10% serait due à une amélioration de compacité du mélange des deux

matériaux liant et sable. Quand à la décroissance au delà de 10%, elle pourrait se justifier par la faible proportion de sable qui a une densité plus importante (2,63) que celle du liant (0,89).

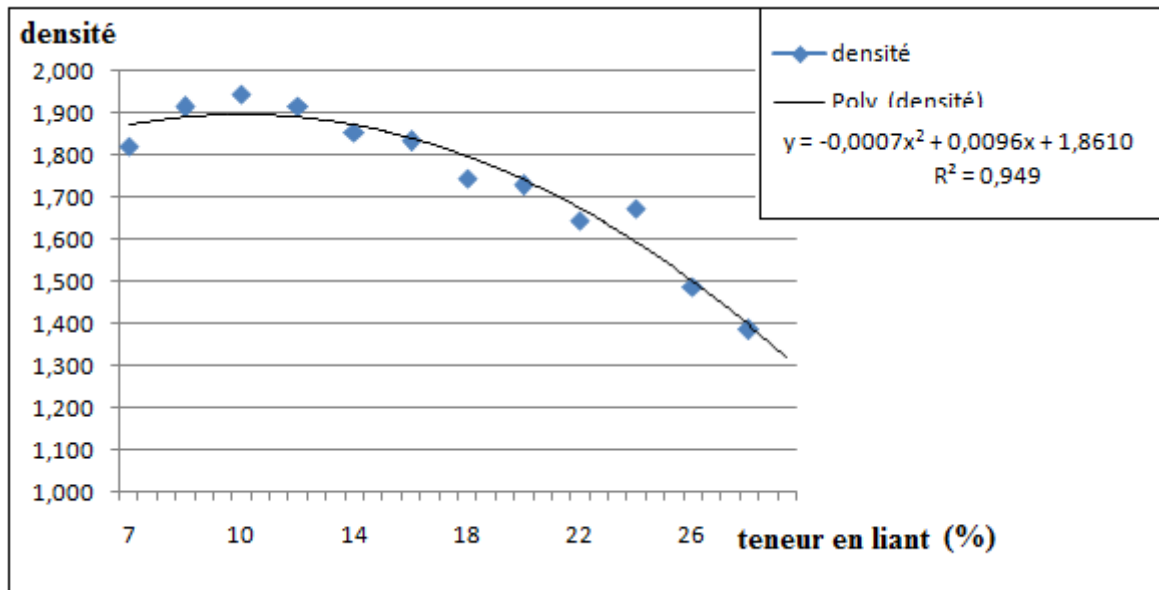


FIG VI.4 : Variation de la densité en fonction de la teneur en liant

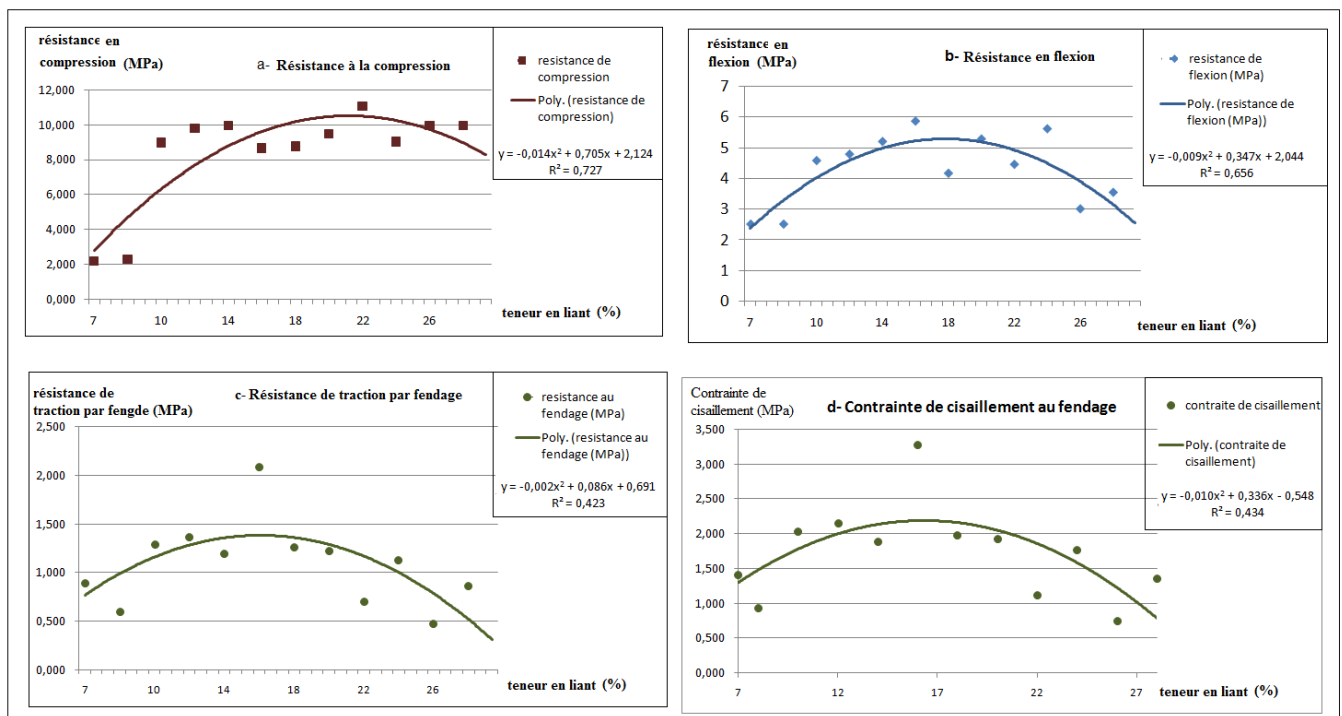


FIG VI.5 : Résistance en fonction de la teneur en liant

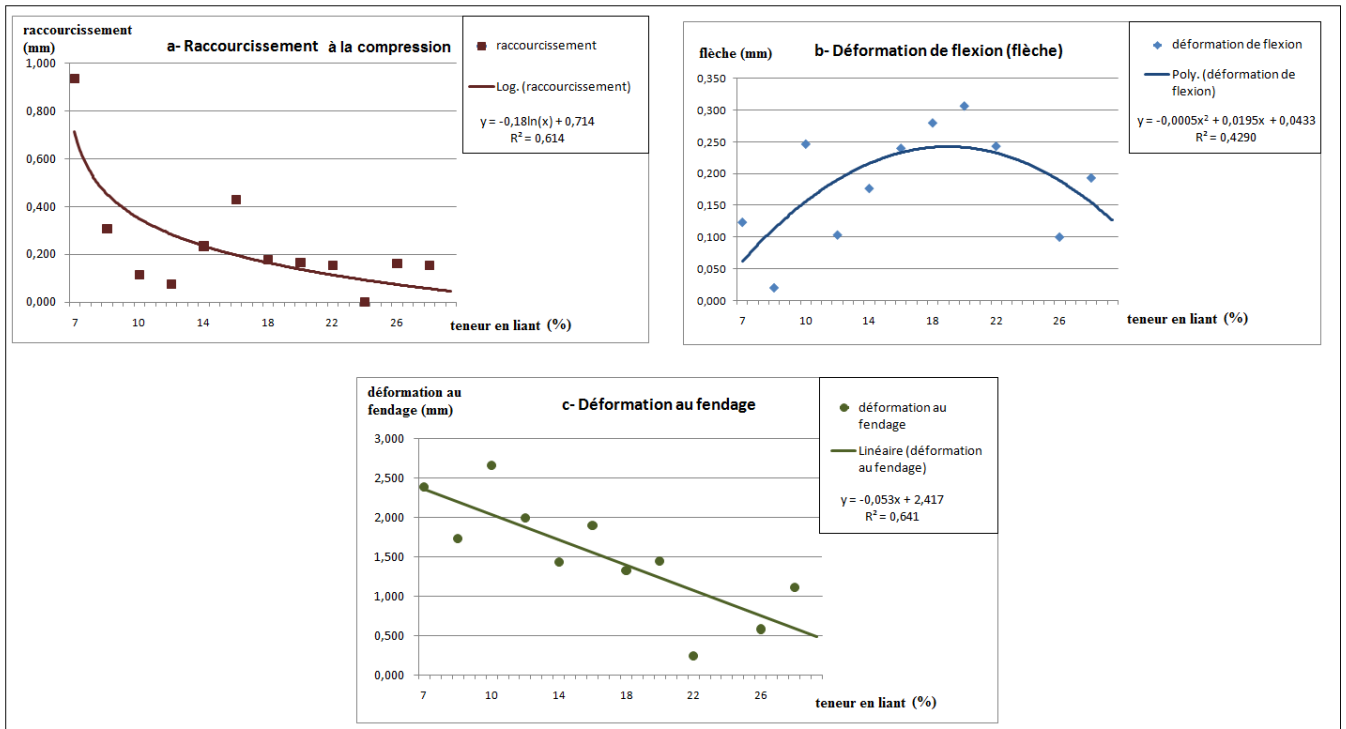


FIG VI.6 : Déformations en fonction de la teneur en liant

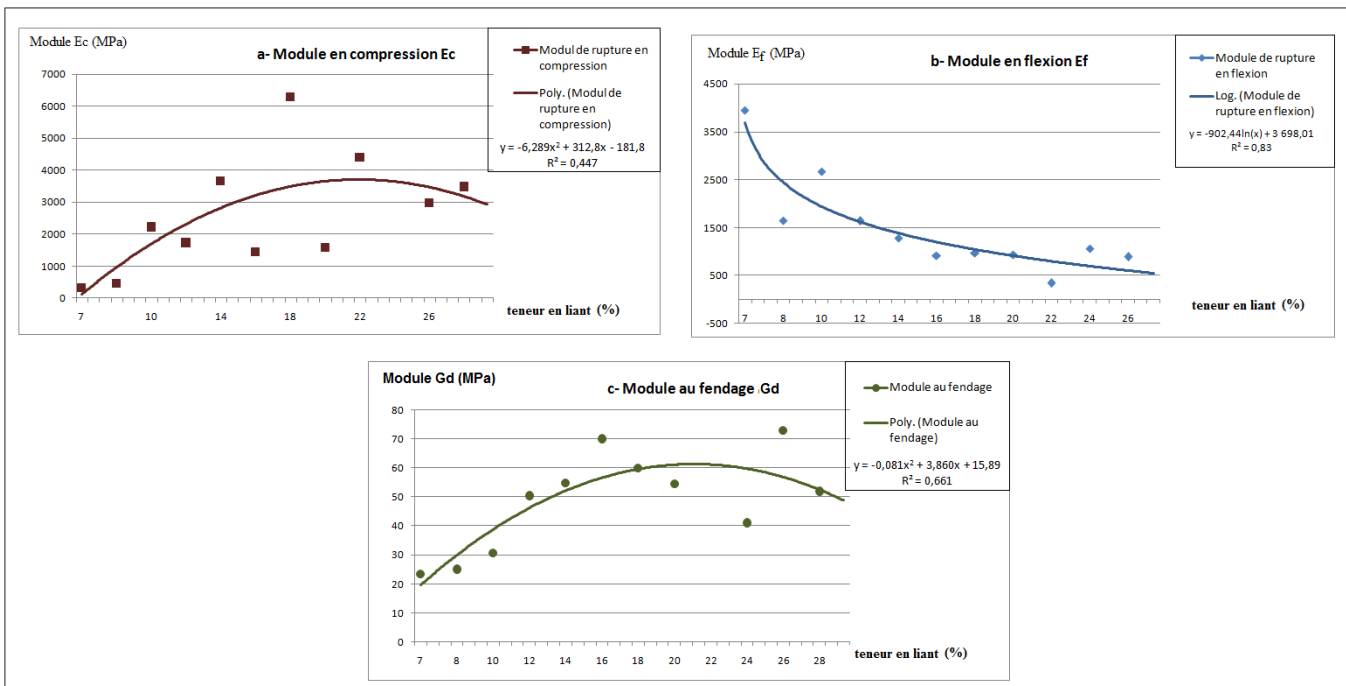


FIG VI.7 : Module d'élasticité en fonction de la teneur en liant

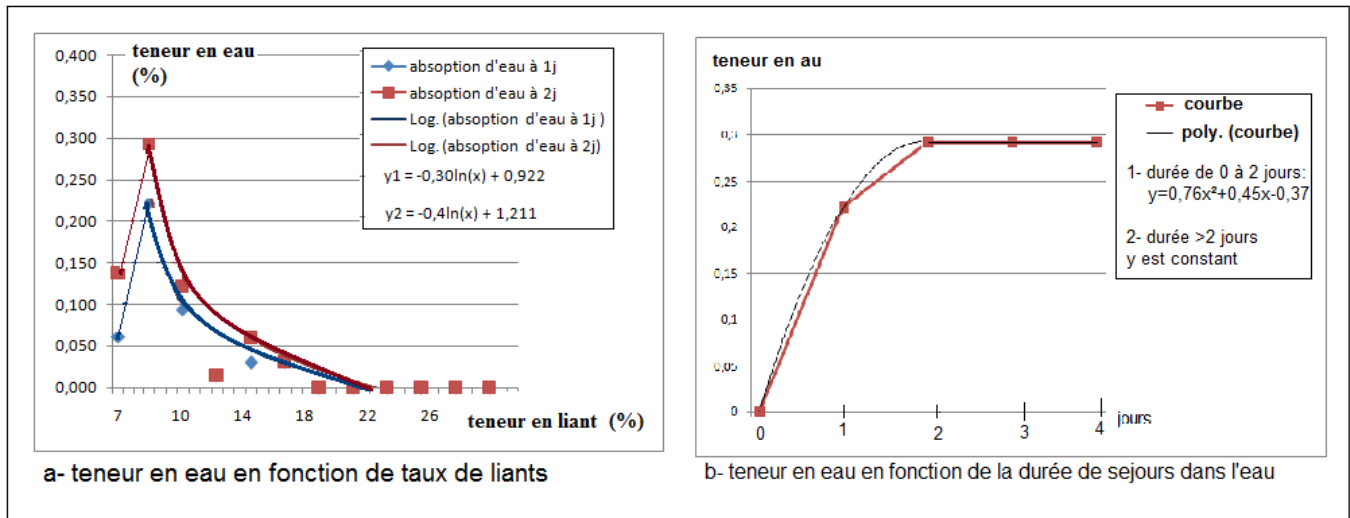


FIG VI.8: Absorption d'eau

Dans le même travail, [Kossi Bollanigni AMEY et al](#) ont montré que la teneur en liant comprises entre 16 et 22 % permettent d'avoir des résistances optimales à la compression (~10,3 MPa), à la traction par flexion (~5,3 MPa) et par fendage (~1,4 MPa) ; aussi la résistance au cisaillement par fendage est de 2,2 MPa au taux de 16%. Les modules d'élasticité longitudinale (E_c) en compression et transversale (G_d) au fendage sont optima (~3 800 MPa et ~60 MPa) et celui en flexion (E_f) est d'environ 700 MPa au taux de liant de 22%. Le comportement à l'eau a montré que le matériau devient étanche à partir du taux de liant de 18%. Il peut donc être utilisé dans la production des pavés, des revêtements et des produits d'étanchéité des toitures.

Le tableau VI.2 : Résumé le comportement du béton polymère à base de plastique recyclé .

N°	Auteurs	Type de sable	Type de plastique	Contrainte de Flexion (Mpa)	Module de Flexion (Mpa)	Contrainte de Compression (Mpa)	Remarques
01	Kossi Bollanigni AMEY et al	Sable silteux	PE	5,3 (22%)	700 (22%)	10,3 (22%)	Cette augmentation est expliquée par une meilleure interaction matrice – silice, et une bonne compacité du matériau.
02							
03							
04							
05							
06							
07							
08							
09							

VI. 3- Conclusion

Le plastique est le matériau synthétique le plus utilisé dans le monde grâce à ses caractéristiques spécifiques telles que la fabrication et la mise en forme facile, le coût moins élevé et la faible densité. Il est très utile dans différents domaines tels que la médecine, l'architecture, la construction et le transport.

Différentes études ont démontré qu'il est également possible de transformer les déchets plastiques par fusion, avec adjonction de sable ou non, en divers produits d'excellente qualité, comme des panneaux de signalisation, des pavés de sol, des dalles de caniveaux et de latrines.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet de fin d'études nous avons parlé sur le technique d'élaboration du béton polymère et les caractéristiques mécaniques des pavés de résines thermoplastiques à partir de la valorisation des déchets plastiques surtout le PEHD . nous nous sommes penchés sur le mode de recyclage des bouteilles en plastique parce qu'il met entre 100 et 1000 ans à se dégrader dans la nature. Cela peut avoir des conséquences environnementaux et économiques.

L'heure est venue de satisfaire le marché interne en augmentant la capacité de récupération du plastique , ainsi le recycler en produits selon les besoins et selon les nouvelles exigences des consommateurs. Dans le cadre de notre étude c'est la valorisation de sables siliceux de granulométries différentes de la région du HODNA.

On commençant d'abord par des généralités sur les nouveaux matériaux et les matériaux polymères, puis sur le système du recyclage plastique qui nous a permit de savoir la composition et le fonctionnement de cette ligne, de plus la description des carrières de sable dans la région du HODNA. Ensuite, on a décrit la méthode d'élaboration des pavés en plastiques, et ce, par la exposition des différentes composantes du broyeur , ce qui a abouti finalement à la conception de l'extrudeuse mono-vis. Une étude comparative entre des travaux déjà réalisés en béton polymère a fait l'objet du dernier chapitre pour refléter les performance du nouveau matériaux envisagé.

La conception et la réalisation d'une unité de recyclage de matière plastique (broyeur et extrudeuse) permet de recycler de matières plastiques utilisées, ce qui conduit à un environnement propre et sain.

L'amélioration des conditions de vie, la créations et de nouveaux produits, et enfin la naissance de nouvelles sources de travail et d'investissement, tout cela est possible grâce au caractère modulaire qui assure l'accessibilité aux citoyens ainsi que la facilité d'utilisation.

Suite à la pandémie Covid-19 , de grandes difficultés s'opposaient à réaliser de notre extrudeuse. Cette dernière , en principe , serait installée au laboratoire de l'institut mécanique afin que les futures étudiants auraient bénéficié de cette machine. Nous espérons que la réalisation de cette machine aura lieu dans un future proche.



Les références bibliographiques

les références bibliographiques

- [1] Jérémie Aucher, « *étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable* », thèse de doctorat, INSA de Rouen, France, 2009.
- [2] Haddadi Manel, « *étude numérique avec comparaison expérimental des propriétés thermoplastique des matériaux composites à matrice polymère* », mémoire master, université Al Hadj Lakhdar, Batna, 2011.
- [3] Jean-Marie Berthelot. *Matériaux composites*. Masson,
- [4] Ressource publiée sur EDUSCOL-STI : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan/>
- [5]<http://www.compomecagrimp.com/app/download/6139898/M%C3%A9caniqueComposites+Chapitre+1.pdf>
- [6] <http://www.univ-bouira.dz/ar/wp-content/uploads/2018/12/Chapitre-3Mat%C3%A9riaux-composites.pdf>
- [7] Baali Hafida, « *étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère* », mémoire master, université de M'sila, juin 2014.
- [8] CARMA, « *Glossaire des matériaux composites* », centre d'animation régional en matériaux avancés, Décembre, 2006.
- [9] Daghefel Azzedine, « *Étude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé*
- [10] Zapata Massot Céline, « *synthèse de matériaux composite par Co-broyage en voie sèche et caractérisation des propriétés physico-chimique et d'usage des matériaux* », institut national polytechnique de Toulouse, décembre 2004.
- [11] http://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie_habitat_225.pdf
- [12] Y. Ohama, Concrete-polymer composites-the past, present and future, 13 th ICPIC, Portugal, 2010, pp. 1-14.
- 22ème Congrès Français de Mécanique Lyon, 24 au 28 Août 2015*
- [13] A. Blaga, JJ. Beaudoin, Polymer modified concrete, Canadian building digest, CBD-241. Institute for Research in Construction, 1985.
- 22ème Congrès Français de Mécanique Lyon, 24 au 28 Août 2015*
- [14] H. Abdel Fattah, M. El- Hawary, Flexural behavior of polymer concrete, Construction and building Materials 13 (1999) 253-262.
- [15] M. Haidar, E.Ghorbel, H.Toutanji, Optimization of the formulation of micropolymer concretes, Constr Build Mater 25 (2011)1632-1644.

[16] <http://www.beton-imprime-technologie.info/mur-beton.html>.

[17] Rachid Berbaoui, « *identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaire à base polymère* », thèse de doctorat, université du Maine option génie mécanique, janvier 2010

[18] Oussama Elalaoui, « *optimisation de la formulation et de tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde* », thèse de doctorat, université de Tunis ELManar, février 2012.

[19] Baali Hafida, « *étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère* », mémoire master, université de M'sila, juin 2014.

[20] GLOSSAIRE DES MATERIAUX COMPOSITES – CARMA –Actualisation octobre 2006

[21] Cascade fonderie, CEFREPAD et 2IE(2011) : Expérience de l'unité de fabrication de pavés plastiques par Cascade Fonderie à travers le PSRDO/CER, Séminaire CIFAL, du 21 au 25 février 2011, 15 p. <https://tel.archivesouvertes.fr/tel-02088767>

[22]. [LakelAdel, « *Évaluation de la dégradation de propriétés et le comportement du béton polymère à renfort de fibres végétales et additifs minéraux* », mémoire master, université de M'sila, Juin 2012

[23] Rachid Berbaoui, « *identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaire à base polymère* », thèse de doctorat, université du Maine option génie mécanique, janvier 2010

[24] M. Fontanille, P. Vairon ; Polymérisation; Ed. Techniques de l'ingénieur, Traité plastiques et composites; (A3 040).

[25] **MARC F. (2016)** : Les plastiques. Cours du Module M227 Matériaux non métalliques. IUT de Cachan, Université de Paris Sud 11.123 p.

[26] Organic and physical chemistry of polymers Y Gnanou, M Fontanille - 2008 - books.google.com [LIVRE]

[27] « Le polyéthylène », Disponible sur <http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyéthylènehaute densité>. [12] G.W. Ehrenstein et F. Montagne, Matériaux polymères: structure, propriétés et applications,

[28] TRAORE Brahiman, Elaboration et caractérisation d'une structure composite sable et déchets plastiques recyclés – DOCTEUR de l'université de BOURGOGNE FRANCHE .

Soutenue publiquement le 30/11/2018

[29] **MARC F. (2016)** : Les plastiques. Cours du Module M227 Matériaux non métalliques. IUT de Cachan, Université de Paris Sud 11.123 p.

[30] -P.Trignon, J.Verdu, A.Dobraczynski & M.Piperaud, Livre de Matières plastiques. ENSAM .paris 1997.

[31] Julien CAZENAVE « Sur le comportement rigidité/durabilité du polyéthylène haute densité en relation avec la structure de chaîne, la microstructure et la topologie moléculaire issues de la cristallisation »Thèse de Doctorat, Ecole doctorale matériaux de Lyon, 17 mai 2005.

[32] site web de recyclage en France <http://www.valorplast.com/>

[33] Bibliographie Adair, P., et Bellache, Y. (2012) Emploi et secteur informels en Algérie : Déterminants, segmentation et mobilité de la main-d'œuvre, Région et développement, 35, 121-149.
Aissat, C. (2012)

[34]Source : **Matériaux construction IIème**

[35] https://complements.lavoisier.net/mise_en_forme_des_polymeres_extrait_ch5.pdf

[36] http://www.zpag.net/Tecnologies_Industrielles/transmissions_chaines.htm

[37] <http://www.transmission-aquitaine.com/wp-content/uploads/2015/06/brochure-R%C3%A9ducteurs-coaxiaux-fonte.pdf>

[38] [www.extrusion-reactive.com]

[39] [expert global de la technologie de commutation statique www.crydom.fr]

[40] ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>

[41] G. DOUBLIE, O. SORGHO, « Valorisation des déchets de sachets plastiques application dans les villes subsahariennes », site <http://www.envirobf.org/dossiers-speciaux/14> du 23/12/13, 2009.

[42] R. DUPAIN, R. LANCHON, J. C. SAINT-ARROMAN, « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Edition CASTEILLA, Paris, 2004, 235p.

[43] Y. GHERNOUTI et B. RABEHI, « Béton à base des granulats de déchets des sacs en plastique renforcé de fibres métalliques », INVACO2 : Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION, N° : 10-035 Rabat – Maroc / 23-25, 2011.

[44] AFNOR, Normes NF EN 933-1, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 1 : Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage», 1997, 16p.

[45] P. AGATI, F. LEROUGE et M. ROSSETTO, « Résistance des matériaux », Edition DUNOD, Paris, 2008.