

N° Ordre.....FSC /UMBB/2016

République Algérienne Démocratique et Populaire



*Université de M'Hamed Bougera -Boumerdes –
Faculté des Sciences de l'ingénieur
Département : Génie des Matériaux*

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie des matériaux

Option : Contrôle de qualité des matériaux

Thème

**Elaboration et caractérisation des
géomembranes à base des polymères
recyclés, pour la protection des bourbiers
de forage pétroliers**

Réalisé par :

M^{elle} : Amrous Sabrina
M^{elle} : Aklil Meriem

Encadré par :

Pr.A.BENMOUNAH

-Boumerdes- 2015-2016

Remerciements

C'est avec l'aide de DIEU tout puissant que ce modeste mémoire a pu être réalisé, DIEU qui nous a donné fois, raisonluciditéet.

Un merci spécial à nos familles qui ont contribué à notre succès

Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciement notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leur conseil, nous avons eu courage d'accomplir ce projet.

Nous commençons par remercier Mr. Benmo unah qui nous a encadrés,

Pour son encouragement continue et aussi d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils.

Ainsi que son soutien morale et sa preuve de compréhension, ce qui nous a donné la force et le courage d'accomplir ce projet.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent de même à Madame Amrous Farida, Monsieur Karie Djamel Eddine, Monsieur Ait Hacen Saïd et Madame Torki pour leurs conseils intéressants, leurs encouragements continus, ainsi que le temps qu'ils nous ont réservé malgréeursl grandes occupations.

Notre remerciement à Mr. Saïdi et Mr CHouaib Aribi qui ont consacré leur temps pour nous faires apprendre beaucoup d'informations et nous ont aidés à améliorer notre niveau

Nous tenons à remercier Mr-Mohamed et Mel le Nadia Bougeuttaya pour leurs aide et leurs soutien en les souhaitant une bonne continuation.

Nous tenons d'autre part à remercier les respectables membres du jury pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux pour commenter, discuter et juger notre travail .

En fin, nous ne pouvons achever ce mémoiresans exprimer notre gratitude à tous les professeurs de la faculté des sciences del'ingénieur, pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaire

Dédicaces

A la mémoire de la plus chère personne à mon cœur q ui j'aurai aimé qu'elle partage cette joie avec moi, personne n'aurai été heureux ourp moi comme toi cher grand-mère Zehour, tu me Manques

*A ma très chère reine, maman Hassiba
ffable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Aucune dédicace ne saurait être assezéloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cesséde me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur .*

*A mon grand plier, Nourdine
Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruitde tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A mes chères sœurs, Amina, Imen, et Zakia
vous avez toujours étés présentent pour les bons conseils. Votre affection et votre soutien m'ont étéd'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle. Veuillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour tous vos efforts*

*A mon très cher frère Samir
En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour toi. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite*

*Un grand dédicas pour mes oncles et tantes: Saïd, Abdelkrim, Mourad, et Lyes.
Dalila, Horia, Farida, Fatiha et Kenza pour leurs encouragements.*

Un dédicas pour mes cousines : Salma, Mina, Rym, Mounia, Nada, Fatma, Yasmine, Naziha, Lyna, Zola, Ikram, Rafik, Yacine, Zakaria, Nazim, Sami et Adel,...Sans oublier mon petit neveux Kaisse et nièce Ania.

A ma grand-mère maternelle pour ces prières.

A tous ceux qui occupent une place dans mon cœur me s chères copines : Sara, Sara kh. Sihem, Sawsen, Meriem, Yasmine, Widdad, et Nihel et aussi à mon ami Abderrahmane.

A mon bien aimée binôme, Aklil Meriem

Sabrina Amrous

Dédicaces

C'est avec profonde gratitude et sincères mot, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes chers parents, qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux

J'espère qu'un jour, je pourrais leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et onguel vie

Je dédie aussi ce travail à mes sœurs Ryma, Hadjer, et mon frère Nasser.

A mes très chères tantes, Zahia, Fatiha, Saida, Samira, et Malika

A toutes la famille : Aklil, Ouakkouche et kahouli.

A toute la promotion 2015/2016

A tous mes amis/amies et collègues de travail : Habiba, Fatma, Hamida, Soumia.

A mon bien aimée binôme Amrous Yamanda

Meriem Aklil

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générales

Chapitre I

Les géomembranes

I.1.1. Introduction	1
I.1.2. Définitions	1
Les géosynthétique	1
Les géomembrane	2
I.1.3. Développement des géomembranes	3
I.1.4. Fonction et nature	4
I.1.5. Différentes structures des géomembranes	5
Les géomembranes armées	6
Les géomembranes composées	7
I.1.6. Types de géomembranes	8
Les géomembranes bitumineuses	8
Les géomembranes polymères	9
Les géomembranes élastomères	10
Les géomembranes bentonitiques	10
1.1.7. Additifs aux composants de base	11

I.1.8.Processus de fabrication :	11
Extrusion	12
Calandrage	13
I.1.8.Les géomembranes en polyéthylène :	14
I.1.9.Propriétés	15
I.1.10.Comportement	16
I.1.11. avantages et inconvénients	17
I.2.Définition des bourbiers	19
I.2.1.Influences des bourbiers sur l'environnement :	20
I.2.2.Les ressources des bourbiers	21

Chapitre II

Les polymères

II.1.Introduction	22
II.1.2 Historique	22
II.1.2.1 Définition :	23
Polymère	23
Haut polymère	23
II.1.2.2 Types des polymères	23
II.2.2. a. Thermodurcissables	24
II.2.2.b. Elastomères	25
II.2.2.c. Thermoplastiques	25
II.1.2.3 Domaine d'utilisation	27
II.1.2.4 Mises en forme	28
Injection	29
Extrusion	29

Extrusion-soufflage	29
Rotomoulage	29
Expansion	29
Compression	29
Calandrage	30
Enduction	30
Thermoformage	30
II.1.2.5 Recyclage	30
II.2 Le polypropylène	32
II.2.1. Historique	32
II.2.2. Présentation du polypropylène	33
II.2.3. Propriétés du polypropylène	33
II.2.4. Applications	36
II.2.5. Avantages et inconvénients	36
II.2.6. Recyclage du PP	37
II.3 Polyéthylène téréphtalate PET	38
II.3.1. Propriétés de PET	39
II.3.2. Utilisation	41
II.3.3. Recyclage du PET	41
II.4.Polyéthylène haute densité	43
II.4.1 Propriétés de PEHD	44
II.4.2. Application	45
Applications primaires	45

Chapitre III

Les argiles

III.1. Introduction	46
III.2. Généralités sur les argiles	46
III.2.1. Définition	46
III.2.2. Classification	47
Les argiles phylliteuses ou phyllosilicates	48
Les minéraux interstatifiés	49
<i>a) Structure ordonnée ou régulière</i>	50
<i>b) Structure irrégulière</i>	50
<i>c) Structure à couche ségrégé</i>	50
Les minéraux fibreux	50
III.3. Les smectites	51
III.4. Généralités sur la bentonite	53
III.4.1. Définition	54
III.4.2. Origine de la bentonite	55
III.4.3. Structure de la bentonite	55

Chapitre IV

Méthodologie de travail et appareillage

I. Introduction	56
Plan de travail	56
I.1. Matériaux utilisées	57
Polypropylène (PP) et polyéthylène téréphtalate (PET)	57
Polyéthylène haute densité (PEHD)	58

Bentonite	59
Géomembrane de type PEHD	60
I.2.Préparation des mélanges	60
Le premier mélange	61
Le deuxième mélange	61
Condition de travail	61
Etapas suivie	61
Test effectués	63
Tests mécaniques	63
Préparation des éprouvettes	63
Test de la résistance à la traction	64
Test de la résistance à la flexion	66
Test chimique	68
Résistance à l'attaque chimique	68
Analyses spectroscopiques	68
Caractérisation par IRTF	68
Test thermique	70

Chapitre V

Intreprétation des résultats

V.1.Résultat de la résistance à la traction	70
Sens longitudinale	70
Sens transversale	72
V.2.Résultat de la résistance à la flexion	74
V.3.Résultat de test chimique	77
V.4.Résultats de l'infrarouge'' IR'	79
Mélange (1) [PP-PET/PEHD/Bentonite]	81

Mélange (2) [PP-PET/PEHD]	82
Géomembrane réelle	82
V.5.Résultats de la DSC	84
Mélange [PEHD/PP-PET]	84
Mélange [PEHD/PP-PET/Bentonite]	85
Géomembrane réelle	86

Liste des figures

Fig I.1. différents types des géosynthétiques	2
Fig. I.2. Structure d'une GM (Breul et al, 2008) ;(b) Rouleau d'une géomembrne en polyéthylène haute densité (CM en PEHD).....	3
Fig.I.3. étanchéité-liquide-bassin-Greenfield.....	5
Fig. I.4. Galerie d'un tunnel Alpin réalisé en PEHD 3mm contrecollé à un géotextile pour stocker de l'amiante naturelle trouvée en excavant.....	6
Fig.I.5. Géocomposite drainant tridimensionnel. Composé par un filet (biplan) en forme de losange et son géotextile (adhéré par uneou double face).....	7
Fig.I.6. Membrane d'étanchéité bicouche / pour toiture / bitumineuses.....	8
Fig.I.7. Photo d'un rouleau de géomembranes polymères	9
Fig.I.8. Membrane d'étanchéité en rouleau / pour toiture gvétalisée / en élastomère	10
Fig. I.9. Revêtement d'étanchéité bicouche.....	10
Fig I.10. Schéma de la production d'une feuille coextrudée par extrusion par soufflage.....	12
Fig. I.11. Schéma de principe de l'extrusion calandrage.....	13
Fig.I.12. Bourbiers étanche avant le forage	19
.....	
Fig.II.1. Motif de répétition du Polyéthylène.....	23
Fig.II.2. Structure d'un Thermodurcissable	24
Fig. II.3. Structure d'un élastomère.....	25
Fig. II.4. Structure d'un thermoplastique linéaire	26
Fig.II.5. Forces des liaisons dans un thermoplastique.....	27
Fig.II.6. structure d'un polymère semi cristallin.....	27
Fig.II.7. principaux domaine d'application des matières plastiques.....	28
Fig.II.8. Schéma du recyclage des emballages en plastique.....	32

Fig.II.9. Schéma représentatif de la réaction de polymérisation du propylène.....	33
II.2.5. Avantages et inconvénients :	36
Fig.II.10. polypropylène recyclé.....	38
Fig.II.11. Méthode de synthèse du polyéthylène téréphtalate polycondensation	38
Fig.II.12. polyéthylène téréphtalate recyclé.....	42
Fig.II.13. Structure des composants issus du processus de dépolymérisation du PET.....	43
Fig.II.14. polyéthylène haute densité recyclé.....	44
Fig.II.15. cycle de différentes applications de plastiques recyclé en pourcentage.....	46
.....	
Fig.III.1. Les argiles.....	47
Fig.III.2. Structure de kaolinite	48
Fig.III.3. La structure d'illite.....	48
Fig.III.4. La structure de Chlorite.....	49
Fig.III.5. Empilement des feuillets d'argile (les surfaces basales, les bordures des particules et les espaces interfeuillets). b) Représentation de l'empilement des feuillets unitaires dans une smectite.....	52
Fig.III.6. Bentonite	54
.....	
Fig.IV.1. Plan de travail	57
Fig.IV.2. Les matières première de nos produits	58
Fig.IV.3. PEHD recyclé	59
Fig.IV.5. Géomembrane réelle	60
Fig.IV.6. photos des étapes suivie pour la préparation de nosmélanges	63
Fig.IV.7. machine de découpe pour plastique et caoutchouc ‘‘CEAST’’	64
Fig.IV.8. Schéma de traction	65
Fig.IV.9. éprouvettes de traction.....	66

Fig.IV.10. schéma de traction.....	67
Fig.IV.11. éprouvettes de flexion	67
Fig.IV.12. Schéma et appareil de l'analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge	69
Fig.IV.13. Schéma et appareil de la DSC.....	71
.....	
Fig.V.2. Variation de la contrainte à la rupture des mélanges [(PP/ PET/PEHD) sens longitudinale.....	71
Fig.V.3. Variation de la contrainte à la rupture des mélanges [PP/ PET/PEHD], [PET/PEHD/PP], PEHD en fonction de l'allongement.....	72
Fig.V.4. Variation de la contrainte à la rupture des mélanges [(PP/ PET/PEHD) sens transversale	73
Fig.V.5. Echantillon 1 (mélange [PEHD/PP/PET/Bentonite]).....	74
Fig.V.6. Echantillon 2 [PEHD] (géomembrane réelle)	74
Fig.V.7. Echantillon 1 (mélange [PEHD/PP/PET/Bentonite]).....	74
Fig.V.8. Variation de la force en fonction du déplacement.....	75
Fig.V.9. L'appareil de flexion	76
Fig.V.10. Essai de flexion.....	77
Fig.V.11. Préparation des solutions.....	78
Fig.V.12. Préparation des échantillons.....	79
Fig.V.13. Séchage des échantillons.....	79
Fig.V.14. Les spectres infrarouges de mélanges (1), (2) [PP/PET/PEHD+Bentonite], [PP/PET/PEHD] et géomembrane réelle.....	81
Fig.V.16. Le spectre infrarouge de 2 ^{eme} mélange [PP/PET/PEHD].....	83
Fig.V.17. Le spectre infrarouge de géomembrane réelle.....	84
Fig.V.18. Variations de la température de fusion en fonctionde flux de chaleur.....	86

Fig.V.19. Variations de la température de fusion en fonction de flux de chaleur pour le mélange PEHD/PP-PET.....	87
Fig.V.20. Variations de la température de fusion en fonctionde flux de chaleur pour le mélange PEHD/PP-PET/Bentonite	88

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.I.1. Les propriétés des géomembranes	14
Tableau I.2. Comportement des grandes familles des géomembranes	15
Tableau.I.3. Principaux avantages et inconvénients des différents types de géomembranes.	16
.....	
Tableau.II.2.3. Propriétés du polypropylène.	33
Tableau.II.3.1. Propriétés de PET.	38
Tableau.II.4.1. Propriétés PEHD.	43
.....	
Tableau. III.1. Classification des principaux groupes de minéraux argileux.	50
.....	
Tableau.V.1. Caractéristique physique de la bentonite.	67
Tableau.V.2. Les matières et matériaux utilisés.	67
.....	
Tableau.VI.1. Les résultats des masses.	79

Introduction générale

L'environnement est constitué de l'ensemble de la biodiversité terrestre et marine, c'est-à-dire toutes les espèces animales et végétales ainsi que les écosystèmes dans lesquels elles évoluent. Ces ressources naturelles sont indispensables à la vie de l'espèce humaine et de la Terre.

Les activités humaines dégradent l'environnement : prélèvement des ressources sans souci de leur renouvellement, déforestation, éradication des espèces animales et végétales, pollution de l'eau, des sols, de l'air... et menacent la survie de tous. Certaines ressources, comme les énergies fossiles, ne sont pas renouvelables, et sont consommées de façon massive, jusqu'à épuisement : de plus, toutes les étapes de leur exploitation et de leur consommation sont extrêmement nocives pour l'environnement. Les ressources renouvelables sont consommées sans préoccupation de leur reproduction, les habitats de la biodiversité sont détruits progressivement, les espèces animales et végétales majoritairement menacées, en voie d'extinction ou déjà éteintes, les rejets massifs de gaz à effet de serre réchauffent la planète très rapidement et de façon durable... L'état de la biodiversité et le niveau de pollution de la terre sont très inquiétants. L'enjeu environnemental du développement durable a pour objectif de mettre en œuvre des actions au quotidien pour réduire le gaspillage, limiter les pollutions, économiser les ressources... afin de les préserver pour maintenir la vie sur Terre. La protection de l'environnement requiert une volonté politique, une implication forte des entreprises, des pouvoirs publics, de tous les citoyens, une évolution des mentalités et des changements de comportement de tous.

La protection de l'environnement, et tout particulièrement les ressources en eau, nécessitent souvent la mise en œuvre d'étanchéités fiables pour différentes sortes d'ouvrages. Qu'il s'agisse d'ouvrages de stockage d'eau ou de déchets, cette étanchéité est de plus en plus fréquemment assurée par des produits simples : les géomembranes. Pourtant, derrière cette apparente simplicité, les géomembranes sont des produits très techniques possédant des caractéristiques particulières, que ni le prescripteur, ni l'utilisateur ne doivent ignorer. Depuis les premières applications dans les années soixante pour des ouvrages hydrauliques, l'utilisation des géomembranes s'est progressivement étendue à la protection de l'environnement. Les géomembranes peuvent être bitumineuses ou de synthèse.

Introduction

Par définition les géomembranes sont des produits utilisés en génie civil dont la seule fonction est l'étanchéité. Elles sont manufacturées, avec une épaisseur minimale de 1 mm et conditionnées en rouleau de largeur supérieure à 1,5 m.

Ce travail de mémoire consiste à élaborer deux géomembranes à base des polymères recyclés, polypropylène (PP), polyéthylène téréphtalate (PET), polyéthylène haute densité (PEHD) avec ou sans l'addition de la bentonite de Maghnia. Les géomembranes élaborées sont ensuite caractérisées par différentes méthodes et comparées aux résultats obtenus à ceux d'une géomembrane réelle de type PEHD.

Ce mémoire s'articule autour de Cinq chapitres :

Le premier chapitre :

Nous développons dans ce chapitre la grande variété des géomembranes et des matériaux apparentés qui font partie de la famille des géosynthétiques. Certaines géomembranes, les géomembranes bitumineuses, sont constituées de produits textiles imprégnés de bitume. Cependant, la plupart des géomembranes utilisées aujourd'hui sont des géomembranes polymériques, c'est-à-dire des géomembranes dont le constituant étanche est à base de polymère synthétique. Plusieurs types de polymères synthétiques sont utilisés pour produire les géomembranes polymériques. Il existe des géomembranes renforcées par un textile tissé ou non-tissé et des géomembranes non-renforcées. On a parlé aussi sur les borbies pétrolier qui sont des endroits de stockage des rejets (hydrocarbures constituant majeur des boues de forage à base d'huile).

Le deuxième chapitre :

Présente des notions générales relatives sur les polymères qui est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère.

Le 3ème chapitre :

Est consacré aux argiles, leurs structures et leurs classifications en se basant sur la bentonite.

Introduction

Le 4^{ème} chapitre

Porte sur la méthodologie et l'appareillage utilisé pour l'élaboration de nos produits. Ces derniers ont été caractérisés et comparés à un échantillon témoin par différents tests.

Le 5^{ème} chapitre traite les résultats obtenus.

Le mémoire se termine par une conclusion qui résume les résultats obtenus, et des recommandations

Résumé

Ce mémoire résume l'importance des géomembranes, matériaux flexibles utilisés en génie civil pour leurs étanchéités. Comme il met en évidence de comprendre et de définir les géomembranes et d'autres produits de la famille des géosynthétiques.

Les géomembranes sont élaborées à base des polymères recyclés « PEHD/PP/PET » sans et avec l'addition de la bentonite de Maghnia pour comparer l'effet de cette dernière sur les propriétés des mélanges, ensuite elles sont comparées à une géomembrane réelle (témoin) (Les fonctions des géomembranes dans les ouvrages de génie civil sont expliquées et leurs applications décrites).

Les géomembranes élaborées ont été caractérisées par différentes méthodes, (mécaniques (traction et flexion), thermique (DSC), spectroscopie (IRTF), et chimique par l'attaque d'acide sulfurique).

Les géomembranes obtenues sont de bonne qualité de même que l'ajout de la bentonite permet d'améliorer leurs propriétés.

Abstract :

This memory summarizes the importance of geomembranes, flexible materials used in civil engineering for their seals. As for understanding and defining the geomembrane and other products of the family of geosynthetics.

Geomembranes are developed based recycled polymers "HDPE / PP / PET" without and with the addition of the bentonite Maghnia to compare the effect of the latter on the properties of the mixtures, after which they are compared with a real geomembrane (witness) (functions of geomembranes in civil engineering works are explained and described their applications).

The geomembranes have developed were characterized by different methods (mechanical (tensile and bending), thermal (DSC), spectroscopy (FTIR), and chemical attack by sulfuric acid).

Geomembranes obtained are of good quality as well as the addition of bentonite enables improved their properties.

Mots clés :

Étanchéité, géomembranes, géosynthétiques, borbier pétrolier, polymère, anisotropie, recyclage, Bentonite, polyoléfines.

Chapitre I

Les géomembranes

I.1.1. Introduction

Les géomembranes sont apparues depuis quelques dizaines d'années, mais leur utilisation s'est développée de façon considérable, pour résoudre de manière particulière les problèmes de l'environnement. Le développement des géomembranes s'inscrit dans celui de l'emploi de matériaux synthétiques dans le génie civil. C'est le géotextile qui a été le premier d'un ensemble de matériaux qui maintenant rassemble plusieurs familles différentes.

Celles-ci permettent ainsi la réalisation, dans le génie civil, de matériaux composites. Le nom générique de tous ces produits est celui de géosynthétique.[1]

I.1.2. Définitions :

Les géosynthétiques :

Un géosynthétique est un produit dont au moins un des constituants est à base de polymère synthétique (polyéthylène, polyamide, polyester ou polypropylène, par exemple) ou naturel. Il se présente sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle. Il est utilisé comme du sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil. Les géosynthétiques sont généralement répartis en deux grandes familles :

les géotextiles et produits apparentés aux géotextiles qui sont des produits perméables
les géomembranes et les géosynthétiques bentonitiques qui sont essentiellement imperméables.[2]



Fig I.1 différents types des géosynthétiques

Les géomembranes :

C'est un produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche aux liquides même sous les sollicitations de service. Dans l'état actuel des techniques, ni les produits de faible épaisseur fonctionnelle (< 1 mm), ni les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériau argileux, ne sont considérés comme des géomembranes[1]. [3]



Fig. I.2. Structure d'une GM (Breul et al, 2008) ;(b) Rouleau d'une géomembranne en polyéthylène haute densité (CM en PEHD)

I.1.3. Développement des géomembranes

La genèse des paquebots modernes, qui, dans le contexte de géosynthétiques sont appelés géomembranes, est intrinsèquement liée au développement et à la croissance de l'industrie des polymères. Peut-être le premier type de feuilles préfabriquées minces, placées sur une base de sol préparé comme actuellement pratiqué, était l'utilisation du chlorure de polyvinyle comme liner de piscine au début des années 1930, voir le personnel (1984). Essais liés au transport ont été pratiqués par le ministère de l'autoroute bavaroise en utilisant de faibles barrières de polyéthylène de base densité la fin des années 1930, voir cloche et Yoder (1957). Pour les grandes feuilles fabriquées, cependant, il semble que les matières synthétiques THERMOST matériaux ont fait le premier impact significatif. Réservoirs d'eau potable scellés avec des revêtements en caoutchoucbutyle sont rapportés à la fin des années 1940, voir le personnel (1969). Une approche de la recherche orientée vers la paroi des canaux d'eau a été entreprise par le Bureau de la mise en état des Etats-Unis dans les années 1950. La recherche a été effectuée par Lauritz qui a travaillé étroitement avec le fabricant et fournisseurs de résine.

Une foule d'activités dans le monde entier en utilisant une large gamme de matériaux polymères a suivi. Le chlorure de polyvinyle (PVC) canal installations maritimes ont été faites au Canada, en Russie, à Taïwan et en Europe tout au long des années 1960 et 1970. Polyéthylène chlorosulfoné (CSPE) a été développé en Allemagne de l'Ouest et se propage à toute l'Europe, l'Afrique, l'Australie et l'Amérique du Nord.

L'Afrique du Sud a également été impliquée dans le développement de double PE dont elle a exporté, puis développé en Amérique du Nord. (Asphalte) panneaux bitumineux ont été utilisés par des groupes agricoles pour le canal et réservoir paquebots depuis les années 1940. Leurs origines étaient probablement dans le monde et par de nombreux groupes des deux organismes privés et publics.

Aujourd'hui, géomembranes sont en effet dans le monde entier à la fois leur disponibilité et leur applicabilité. Ils sont vraiment un sous-ensemble de géosynthétiques et grande catégorie dans leur propre droit. Dans certaines applications, telles que les solides doublures d'enfouissement de déchets, ils sont l'objet principal de l'attention. Dans les cas les

autres géosynthétiques tels que géotextiles, géogrilles et géocomposites sont auxiliaires au bon fonctionnement et à long terme de la géomembrane. [4]

I.1.4. Fonction et nature

La fonction des géomembranes est d'assurer une étanchéité quelles conditions naturelles d'un site ne présentent pas, ou que doit comporter un ouvrage à réaliser ? Ça peut être, dans le premier cas, un bassin de réception d'un effluent de nature quelconque ou une décharge de déchets, dans le second cas, un barrage, un canal en remblai, un tunnel ou une canalisation.

Les géomembranes présentent l'avantage d'une grande minceur (1 à 6 mm). On doit néanmoins, à cause de cette minceur, les protéger. Elles sont donc associées à une couche support en dessous et reçoivent une protection au-dessus. On parle alors, pour l'ensemble, de dispositif d'étanchéité par géosynthétique (DEG).

À la fonction étanchéité on doit souvent, par sécurité et complément dans la conception de la barrière, associer une fonction drainage.

Celle-ci sera constituée de géosynthétiques. On conçoit ainsi des dispositifs de drainage par géosynthétique (DDG), de faible épaisseur et de structure identique à la barrière d'étanchéité, par la similitude de la nature des matériaux mis en oeuvre. Mais on peut, en utilisant des matériaux naturels et des géosynthétiques, concevoir des DDG de forte épaisseur[1].

I.1.5. Différentes structures des géomembranes

Les géomembranes peuvent, au niveau macroscopique, présenter une très grande variété de structures, qu'il est en règle générale possible de rattacher à l'une ou à plusieurs des grandes familles suivantes :

- Les géomembranes monoplis ou multiplis.
- Les géomembranes armées.
- Les géomembranes composées.

Les géomembranes monoplis ou multiplis

Les géomembranes monoplis et les géomembranes multiplis, parfois qualifiées de «géomembranes homogènes», présentent la structure la plus simple visuellement, bien que leur structure interne puisse être d'une grande complexité. En effet, elles peuvent être fabriquées en usine par superposition (à chaud et sous pression) de plusieurs feuilles ou films minces appelés plis dont les natures chimiques peuvent être différentes (couche externe traitée anti-UV ou à plastifiants spéciaux) sans qu'il apparaisse pour autant une hétérogénéité physique décelable visuellement. On distingue ainsi les géomembranes monoplis des géomembranes multiplis. Une géomembrane monopli est constituée d'un seul pli ; elle peut être composée mais non pas armée ou renforcée. Une géomembrane multipli est constituée de plusieurs plis adhérents entre eux, de nature identique ou différente.



Fig.I.3. étanchéité-liquide-bassin-Greenfield

Les géomembranes armées

Les géomembranes armées sont des géomembranes dont les caractéristiques mécaniques ainsi que la stabilité dimensionnelle thermique sont améliorées par un renfort constitué d'une structure ou d'éléments continus accolés en leur sein : ce renfort est alors appelé armature. Lorsque le (ou les) renforts sont discontinus, on préfère parler de géomembranes renforcées. Selon les géomembranes, l'armature peut être un textile non tissé ou une grille tissée. Les renforts peuvent être fibreux, en matière organique ou

minérale. Toutes les géomembranes bitumineuses sont armées.



Fig. I.4. Galerie d'un tunnel Alpin réalisé en PEHD3mm contrecollé à un géotextile pour stocker de l'amiante naturelle trouvée en excavant

Les géomembranes composées

Ce sont des produits manufacturés formés par superposition et assemblage de plusieurs composants dont au moins une géomembrane. Les composants autres que la géomembrane sont dénommés matériaux associés ; ils ne sont pas séparables de la géomembrane sans altération de celle-ci. Le matériau associé peut être une couche de matière organique ou minérale, tissée, non tissée, tricotée, continue ou alvéolaire ; il apporte à la géomembrane une ou plusieurs des spécificités suivantes :

- protection contre le poinçonnement.
- Protection contre l'agressivité chimique du support (compatibilité).
- Amélioration de la stabilité dimensionnelle thermique.
- Amélioration éventuelle de certaines caractéristiques mécaniques (dans ce cas il assure

Le rôle de renfort externe).

- Modification du coefficient de frottement.

- Amélioration des possibilités de collage de la géomembrane sur des supports variés (Béton, métal,...).
- D'autres matériaux peuvent également être associés à la géomembrane : granulats de surface, films minces anti-adhérents ou anti-perforation. [5]

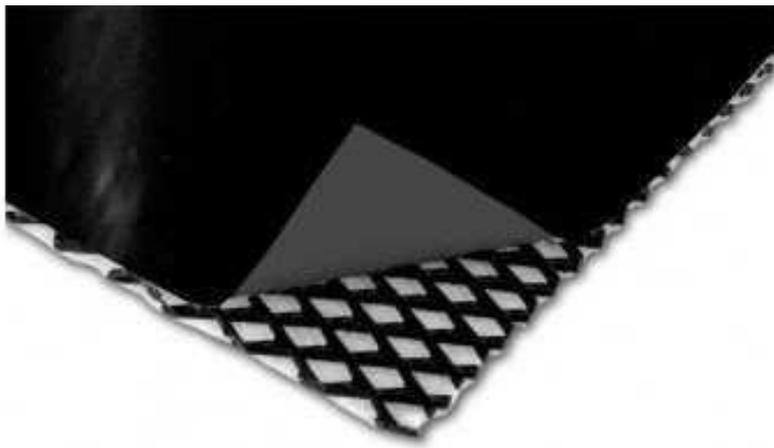


Fig.I.5. Géocomposite drainant tridimensionnel. Composé par un filet (biplan) en forme de losange et son géotextile (adhéré par une ou doubleface).

I.1.6. Types de géomembranes

Deux grandes familles de géomembranes se distinguent, suivant leur composition : celles fabriquées à partir de bitumes, qui furent les premières géomembranes produites et celles fabriquées à partir de polymères synthétique.

Les géomembranes bitumineuses

Se composent d'une masse d'enrobage (bitume oxydé, bitume modifié élastomère) qui leur apporte les propriétés d'étanchéité et d'un tériau fibreux qui leur confère à la fois tenue et résistance mécanique (Rollin et al, 2002a).

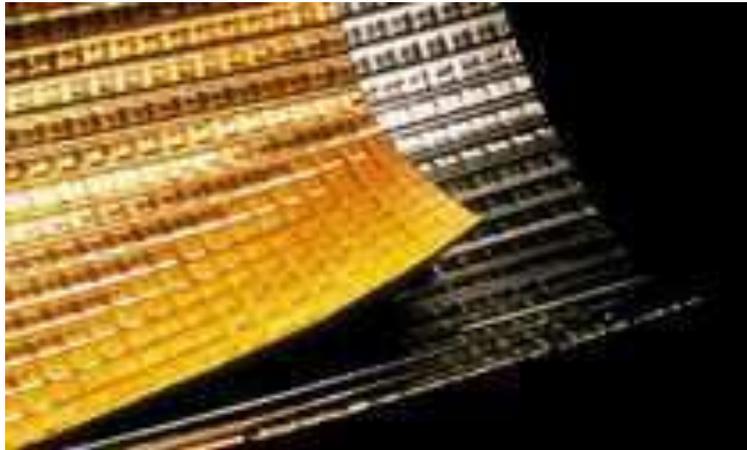


Fig.I.6.Membrane d'étanchéité bicouche/pour toiture / bitumineuses

Les géomembranes polymères

Elles sont fabriquées à partir de la fusion d'une résine ou d'un mélange de résines synthétiques thermoplastiques ou élastomères. Parmi les polymères thermoplastiques les plus courants on peut distinguer le PEHD (polyéthylène haute densité), le PEBD (polyéthylène basse densité), le polypropylène flexible (PP-F) et le chlorure de polyvinyle plastifié (PVC-P).



Fig.I.7. Photo d'un rouleau de géomembranes polymères

Les géomembranes élastomères :

Les plus utilisées sont élaborées à base de polyéthylène chloro-sulfoné (PECS) ou d'éthylène-propylène-diène monomère (EPDM).

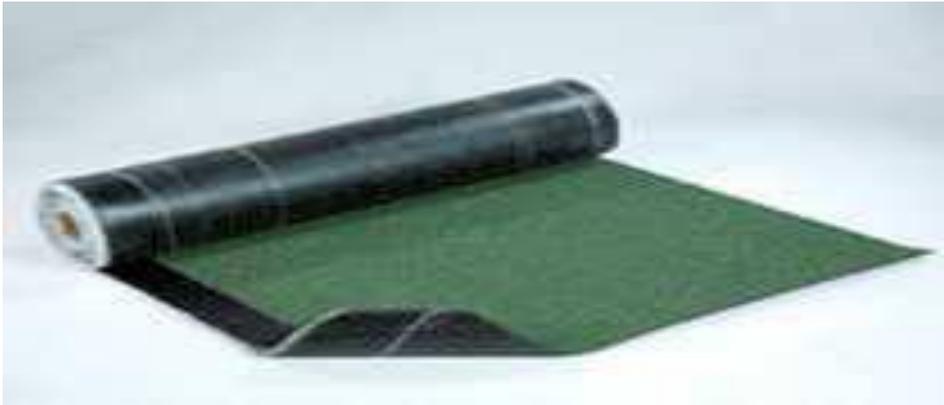


Fig.1.8. Membrane d'étanchéité en rouleau / pour toiture végétalisée / en élastomère

Les géomembranes bentonitiques :

C'est un produit manufacturé en forme de nappe, constitué d'un assemblage de matériaux comportant au moins de la bentonite, en poudre ou en granules, celle-ci assurant la fonction étanchéité, et d'un ou plusieurs géosynthétiques utilisés comme supports ou conteneurs. Il est utilisé dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.



Fig. I.9. Revêtement d'étanchéité bicouche

1.1.7. Les additifs aux composants de base

Les géomembranes incluent généralement dans leur composition des additifs, tels que des :

- Charges minérales, du carbone, des fillers calcaires, de la poudre d'ardoise, etc.
- Agents stabilisants, du noir de carbone (utilisé notamment dans la fabrication du polyéthylène et de certains PVC).
- Agents fongicides, herbicides, algicides, bactéricides.
- Auxiliaires de transformation.
- Fibres et des élastomères (notamment pour les géomembranes bitumineuses).

1.1.8. Processus de fabrication :

Les géomembranes lisses ou texturées peuvent être fabriquées de façon à être relativement homogène et sont constituées essentiellement de matières polymères mélangées avec d'autres additifs selon les besoins. En outre, les géomembranes peuvent être fabriquées en plusieurs couches de différentes couleurs, avec des degrés de texturation simple ou double

face ou moins), ou avec un renfort qui peut être externe ou interne des membranes. Les principaux objectifs pour les configurations différentes sont soit d'améliorer les propriétés

mécaniques (par exemple, résistance à la traction) des géomembranes à l'étude ou, dans le cas des produits multicouches, de réduire les coûts par enchançage des propriétés des couches extérieures seulement.

Les trois méthodes les plus courantes de géomembranes de fabrication sont ci-dessous :

- Extrusion
- Calandrage
- Revêtement de diffusion

Extrusion

Le procédé d'extrusion est le plus couramment utilisé pour produire HDPE, LLDPE, et polypropylène (FPP) géomembranes. Un composé polymère fondu est extrudé à travers une filière à partir d'une feuille d'un composé polymère. Le composé polymère fondu est entraîné à travers la filière, soit en appliquant une pression sur le composé polymère fondu, ou en utilisant une filière circulaire pour former un tube, et souffler de l'air à l'intérieur.

Le procédé d'extrusion peut également être utilisé pour produire des géomembranes texturés (à savoir, géomembranes avec une surface rugueuse), ce qui peut créer une surface de friction plus élevée. Les quatre méthodes utilisées pour géomembranes de texture incluent coextrusion, empilement, lamination, et la structuration. Soit la méthode produit une surface texturée qui améliore la résistance au glissement le long de l'interface d'une géomembrane et le sol.

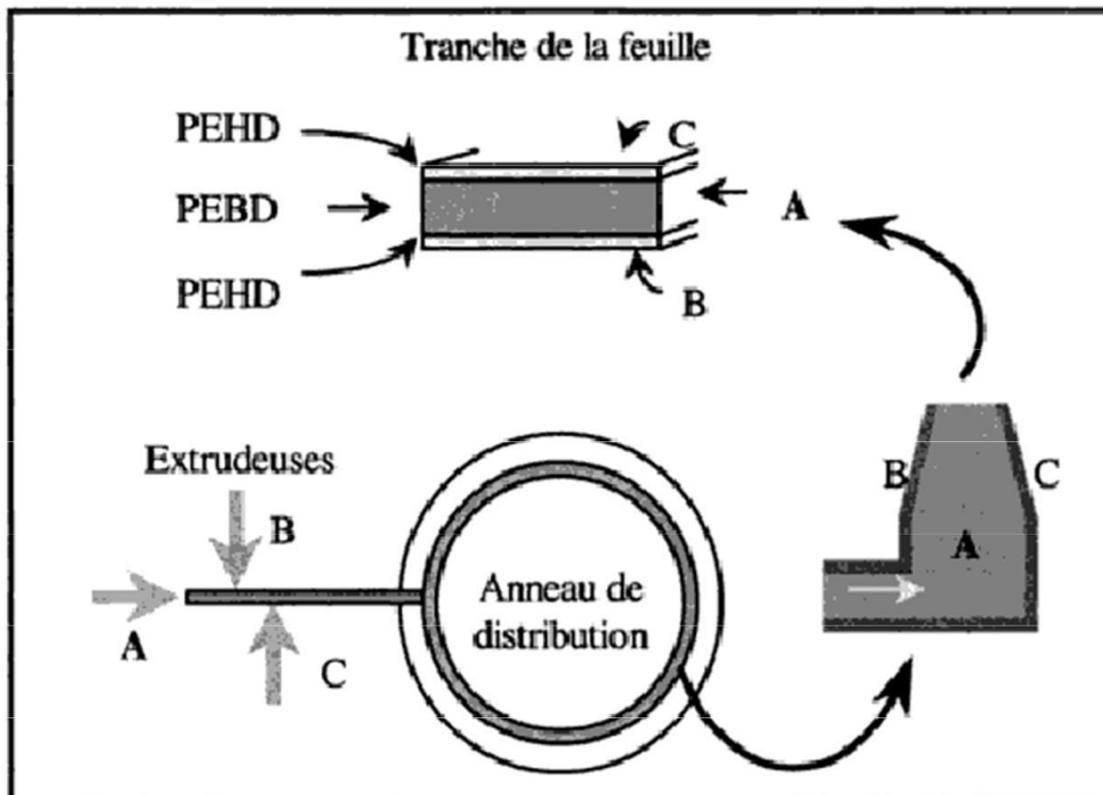


Fig I.10. Schéma de la production d'une feuille coextrudée par extrusion par soufflage

Calandrage

Le processus de calandrage est le plus couramment utilisé pour produire du PVC, CSPE, et scrim renforcé (-R) géomembranes, y compris CSPE -R et FPP -R ... Un composé polymère chaud passe à travers une série de rouleaux chauffés pour former une feuille de composé polymère. Plusieurs feuilles de composé polymère peuvent être calandré simultanément et associées pour former un ultim- couches « géomembrane. Cela est principalement utilisé pour associer des feuilles polymères ayant des propriétés complémentaires. Cependant, dans les années 1970, les géomembranes calandré non renforcées étaient souvent composées de deux nappes identiques. Le but de ce procédé est de réduire au minimum le risque d'avoir un trou d'épingle à travers toute l'épaisseur de géomembranes. Des trous d'épingle sont de petits trous qui peuvent exister dans une feuille d'un composé polymère à la suite de grain ou à partir du processus de fabrication. Les rouleaux sont généralement lisses. Cependant, les rouleaux avec une surface à motifs sont parfois utilisés pour produire des géomembranes avec une surface texturée.

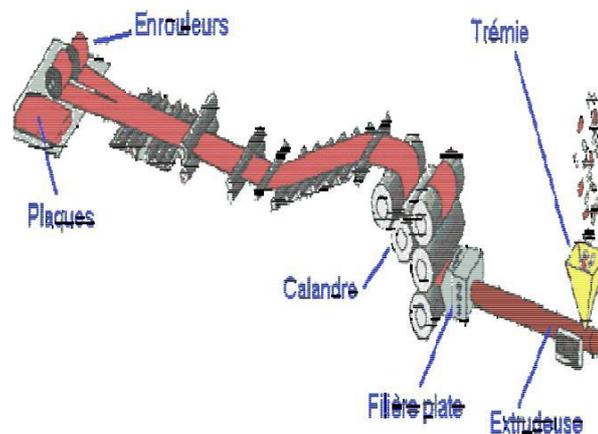


Fig. I.11. Schéma de principe de l'extrusion calandrage.

Revêtement de diffusion

Le procédé de Revêtement de diffusion est généralement utilisé pour la production de géomembranes renforcés par géotextiles (un type de géocomposites). Avec ce procédé, un

revêtement uniforme du composé polymère fondu estalé sur un géotextile tissé ou non tissés. Ce procédé de fabrication est rarement utilisé. [6]

I.1.8. Les géomembranes en polyéthylène

On utilise les géomembranes en polyéthylène pour garantir l'étanchéité de nombreux types d'ouvrages de génie civil à des fluides très variés. Selon la densité du polymère, ces géomembranes sont destinées à des domaines d'application très différents : le polyéthylène haut densité (PEHD) peut par exemple, étancher le ondf et les parois des cellules de confinement de déchets, le polyéthylène à basse outrès basse densité (PEBD, PETBD) peut servir à imperméabiliser les couvertures de cellules.

La géomembranes PEHD est populaire, car elle est reconnue pour être la plus résistante aux attaques chimiques, la plus économique, la plus disponible et celle qui s'ajuste (ou s'adapte) au plus grand nombre d'applications. En c ontrepartie, elle est certainement la plus difficile à manipuler, à installer et à souder. De plus, c'est un des produits les plus sensibles au phénomène de fissuration sous contrainte, qu'on définit comme une rupture fragile du matériau par relaxation de liaisons intermoléculaires dans la zone amorphe. Cette rupture est favorisée quand la géomembrane est soumise au fluage dans un chimiquement agressif ou à des impacts.

La performance des géomembranes PEHD installées depuis 1973 dans plusieurs applications géotechniques s'avère excellente : les ouvrages munis de ce matériau continuent de fonctionner comme prévu lors de l'installation. Les informations disponibles nous ont permis de mieux connaître le comportement des géomembranes PEHD en contact avec différents matériaux sous des conditions climatiques variables.

Dans la situation actuelle, on associe très souvent les géomembranes en polyéthylène à l'étanchéité des cellules de confinement de déchets. On associe plus particulièrement le polyéthylène à haut densité (PEHD) [densité de laeuillef > 0.940] à l'imperméabilisation des fonds et parois de ces cellules, ou les sollicitations chimiques sont les plus grandes. Enfin

le polyéthylène à basse densité [PEBD(L)] (densitéde la feuille < 0.939) se retrouve souvent en couverture.

Pour étancher les cellules de confinement de déchets, de nombreuses réglementations favorisent l'utilisation des géomembranes PEHD au détriment d'autres produits synthétiques ou naturels.

Certaines des réglementations les plus récentes exigent une géomembrane de 1.5mm d'épaisseur, d'autres une géomembrane dont la perméabilité est inférieure à 0.01 g/m²/jour.

I.1.9. Propriétés des géomembranes.

Propriétés	Membrane Bitumineuse	Type		Géocomposite
		PEHD	PEBD	
Epaisseur(mm)	3 à 6	1 à 3	0.5 à 2.5	<10
Masse volumique... (g/cm ³)	3 à 6	1 à 3	0.5 à 2.5	<10
Perméabilité K..... (m/s)	3 à 5 kg/m ²	0.94	0.89	
Angle de frottement	<10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹²
Résistance à la rupture..... Allongement.....(%)	Variable avec support 27° sur du sable	Variable avec support 18° sur du sable	Variable avec support 18° sur du sable	Variable 9° à 26°
Limite élastique..... Allongement(%)	14 à 32 kN/m 35 à 50	24 à 36 N/mm ² 600 à 800	24N/mm ² 900	14 à 27 kN/m 15 à 140
Résistance à la déchirure amorcée.....	Sans objet	10N/mm ² 15	15N/mm ² 20	Sans objet
Poinçonnement.....		100 à 430N	30 à 180 N	
Résistance à fissuration sous contrainte		230 à 400 N	30 à 150 N	170 à 400 N
Il s'agit d'ordre de grandeur.		1500h	1500h	

Tableau.I.1.Les propriétés des géomembranes

I.1.10. Comportement des géomembranes.

	Géomembranes de synthèse		Géomembrane bitumeuses	
	Elastomère	Plastomère	Bitume soufflé	Bitume modifié aux polymères
Comportement général	Elastique	Plastique	Viscoplastique	Viscoélastique
Comportement sous contrainte imposée	Allongement élastique constat fonction de la contrainte La déformation disparaît avec la contrainte	Pour une contrainte supérieure au seuil d'écoulement, il se produit des déformations partiellement irréversibles après cessation de contrainte	Même comportement que les plastomères, avec une valeur différente pour le seuil	Même comportement que les élastomères, avec limite élastique
Comportement sous allongement imposé	Reste sous tension	Relaxation partielle de contrainte	Relaxation de la contrainte	Reste sous tension
Influence d'une température élevée	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Souplesse à froid	Très bonne	Bonne, variable suivant les produits	Assez bonne	Bonne à très bonne suivant nature et teneur des polymères
Solvant Thermique	Impossible si réticulé	Très facile	Très facile	Très facile
Soudure par solvant	Impossible si réticulé	Possible suivant produit	Sans objet	Sans objet
Collage	Facile	Facile à difficile	Facile	Facile
Vulcanisation	Possible	Sans objet	Sans objet	Sans objet

Tableau I.2. Comportement des grandes familles des géomembranes

I.1.11. Avantages et inconvénients des géomembranes... [8]

Géomembrane	Avantages	Inconvénients
PEHD	Grande résistance chimique Rigidité de la bonne soudure Propriétés de bonne basse température Relativement peu coûteux	Risque de fissuration sous contrainte Haut degré de dilatation thermique Résistance à la perforation pauvre Propriétés de mauvaises souches multiaxiales
PE – BDL	Plus souple que le PEHD Layflat mieux que HDPE Propriétés de bonnes souches multiaxiales	Résistance aux UV inférieure à HDPE Résistance aux produits chimiques inférieurs à HDPE
FPP	Peut-être usine fabriqué et plié donc moins de coutures champ fabriqué Excellentes propriétés multiaxiaux Bonne conformabilité Fenêtre de température de jonctions larges	Résistance limitée aux hydrocarbures et l'eau chlorée
PVC	Bonne ouvrabilité et layflat comportement facile à la couture Peut-être plié de Façon Moins champion Coutures Fabriques	Faible résistance aux UV et à l'ozone, à moins spécialement formulé Faible résistance aux intempéries La mauvaise performance à haute et basse températures
CSPE	Excellente résistance aux UV et à l'ozone Bonne performance à faible températures Bonne résistance aux produits chimiques, acides et les huiles	Vous ne pouvez pas être thermiquement soudé après vieillissement

Tableau.I.3. Principaux avantages et inconvénients des différents types de géomembranes.

Suite du tableau.I.3. Principaux avantages et inconvénients des différents types de géomembranes.

PEMD	Bonne résistance aux UV et à l’ozone et aux solvants Caractéristiques de résistance élevée Bonne performance à basse température Comportement layflat Excellente	Faible résistance aux huiles, hydrocarbures La mauvaise qualité de couture
Caoutchouc butyle	Bonne résistance aux UV et érosion Bonne résistance à l’ozone	Propriétés mécaniques relativement faibles Faible résistance à la déchirure Faible résistance aux hydrocarbures Difficile à couture
Caoutchouc nitrile	Bonne résistance aux huiles et carburants (mais pas biodiesel)	résistance à l’ozone Médiocre moins bien formulé Médiocre résistance au déchirement

I.2.Définition des bourbiers

Dans le domaine de l’exploitation pétrolière, une panoplie des produits est employée dans la formulation des boues de forage. Ces composés de natures différentes et dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont cependant déversés dans la nature. En plus des hydrocarbures (HC tels que le gazole) constituant majeur des boues à base d’huile, on note les déversements accidentels du pétrole, ainsi que d’une variété d’autres produits et additifs spéciaux (tensioactifs, polymère , ..) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés ’bourbiers. [9]



Fig.I.12. Bourbiers étancheavant le forage



Fig.I.13. Bourbiers après une opération de forage

I.2.1. Influences des bourbiers sur l'environnement :

Les bourbiers (cutting) sont principalement contaminés par des hydrocarbures (gasoil ou pétrole, provenant de la boue à base d'huile) et des métaux lourds (provenant principalement des additifs de la boue).

Les cutting risquent de contaminer le sol et le sous-sol par les actions suivantes :

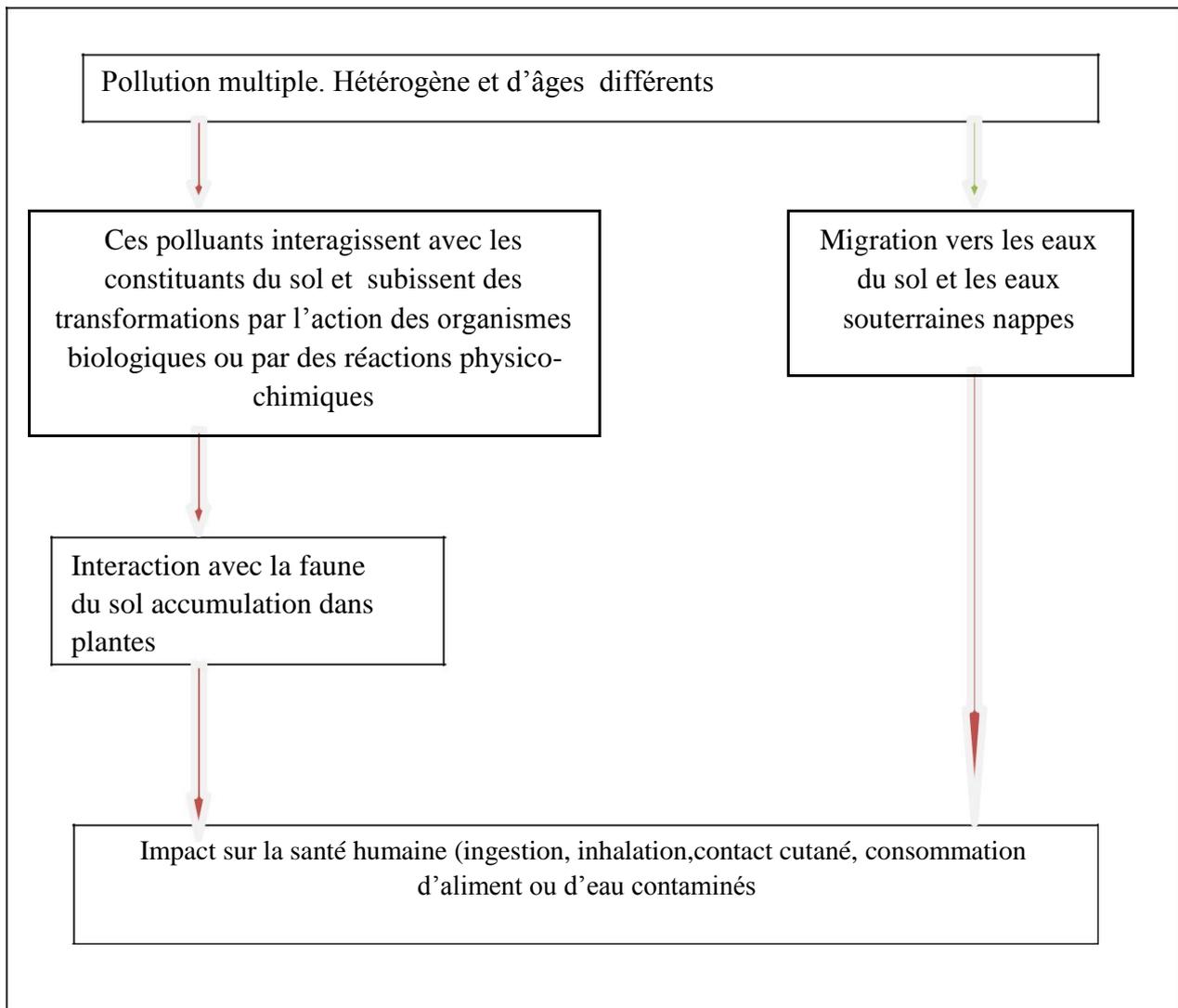


Fig.I.14.Action des polluants dans le sol

I.2.2.Les ressources des bourbiers

L'activité de forage

Parmi Les couches géologiques traversées par les fluides de forage, on rencontre les différentes aquifères qui risquent une contamination sérieuse par infiltration de ces fluides ; qui sont :

- a) A partir de la surface par les rejets et liquide de forage (boue de forage, cutting, etc...) déversés dans la plupart des cas, directement sur le sol sans aucune protection, ainsi

que les rejets solides et liquides domestiques, qui se déversent dans des fosses non conformes et non protégées.

- b)** En cour de forage, la contamination se traduit par le contact de deux fluides de caractéristiques rhéologique différentes (mélange'und fluide de la formation traversée et la boue de forage en question).
- c)** Une mauvaise cimentation peut provoquer des pertes du laitier de ciment dans les formations et une venue de fluide de formation.
- d)** par infiltration des hydrocarbures en développement.
- e)** le stockage non conforme des produits chimiques utilisés pour les différents fluides peut provoquer aussi une contamination des sols donc des aquifères de surface.

I.2.3. Opération de production sur puits

Lors des opérations de production (extractions des hydrocarbures, et leur acheminement vers les centres de production), des risques majeurs de pollution et de contamination des aquifères (de surface et autres) peuvent survenir.

- a)** lors des déversements d'hydrocarbures volontaires en surface (dégorgement des puit ou lors d'opération de snubbing de work-over, etc...).
- b)** des fuites d'hydrocarbures dues aux détériorationset à la corrosion des tubages et casing.
- c)** des résidus de pertes de fracturation, d'acidification, etc. Pendant les opérations spéciales.
- d)** des rejets de produits de pertes issues de l'opération d'évaluation du réservoir.
- e)** des rejets de produite utilisent pour l'entretien des puits et des installations de production.

Les hydrocarbures produits passant d'abord par des séparateurs (huile/gaz) et sont débarrassés des eaux résiduelles pour être acheminés vers des bacs de stockage.

Les rejets gênères proviennent des eaux de décantation, des slopes et également des fuites d'hydrocarbures due aux défaillances des bacs.

Lors de l'acheminement des hydrocarbures par canalisations, des déversements et fuites peuvent survenir, ce qui induit forcément une pollution de sol et des aquifères de surface. De plus, l'empiétement de ces canalisations (pouvant atteindre un diamètre 40'') peut gêner jusqu'à l'évolution naturelle du système écologique.

Chapitre II

Les polymères

II.1.Introduction :

Un matériau est appelé plastique, qu'il soit naturel ou synthétique, après avoir été déformé par une action externe (température + contrainte, pression, ...), il conserve la forme acquise après la fin de cette action. Il vient du mot grec plastikos qui signifie modelable.

Scientifiquement il a le nom polymère, vient du grec « poly » signifiant plusieurs et « meros » parties ou unités. C'est un matériau organique composé essentiellement d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Un polymère est une substance composée de macromolécules, qui elles même sont constituées d'une chaîne de monomères. En effet, un matériau macromoléculaire ou polymère est constitué de longues chaînes où les unités de répétition sont toutes les mêmes (homopolymère) ou de nature différente (copolymère). La cohésion des atomes sur une même chaîne est assurée par des liaisons chimiques fortes, tandis que les liaisons inter chaînes sont plus faibles. La présence de liaisons faibles et fortes apporte aux matériaux polymères des propriétés physicochimiques particulières.[11]

II.1.2.Historique :

Bien que l'homme ait depuis longtemps utilisé des polymères naturels, comme les fibres textiles par exemple, il faut attendre 1830 pour que la science s'y intéresse. Au départ, on a transformé chimiquement des polymères naturels pour générer des polymères artificiels. La vulcanisation du caoutchouc en 1844 par Goodyear et la production de nitrocellulose pour remplacer la soie en sont les deux grands exemples. Le terme polymère est pour la première fois utilisé en 1866 par Berthelot lors d'une de ses observations, il désigne ainsi probablement le premier polymère synthétique reconnu, le polystyrène.

Une étape importante est franchie avec la production industrielle de polymères synthétiques, comme la bakélite en 1910. Même si la notion de macromolécule est présagée au début du XIXe siècle, de nombreux chercheurs ne voient là que des agrégats ou micelles. Cette notion n'apparaît que tardivement dans l'histoire de la chimie, dans les années 1920,

avec les travaux d'Hermann Staudinger. Il est le premier à proposer la notion de polymère comme connue aujourd'hui, il a ainsi ouvert la voie à la science et à la technologie des polymères. Il a obtenu le prix Nobel en 1953 pour ses travaux.

Ce n'est cependant qu'au cours de la décennie suivante que la théorie macromoléculaire a définitivement remplacé la théorie micellaire à laquelle elle était opposée. [14]

II.1.2.1. Définition :

- **Polymère** : assemblage de monomères par liaison covalente formant une chaîne macromoléculaire.
- **Haut polymère** : polymère de haute masse molaire (chaîne macromoléculaire longue, i. e. le nombre n est grand pour la figure suivante). [15]

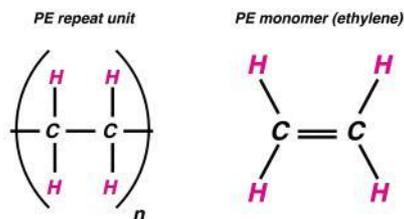


Fig.II.1.Motif de répétition du Polyéthylène

II.1.2.2. Types des polymères:

Les polymères sont divisés en trois parties, suivant des différences de structures macromoléculaires aboutissant à des différences importantes dans les propriétés thermomécaniques. [16]

II.2.2. a. Thermodurcissables :

Les molécules de ces polymères se composent de longues chaînes, reliées par de nombreuses liaisons chimiques fortes et des forces de cohésion physiques (figure II.2).

A température ambiante le matériau est dur ; les liaisons chimiques sont si solides qu'elles ne peuvent pas être rompues quand le matériau est chauffé, contrairement aux liaisons physiques qui sont sensibles à la chaleur.

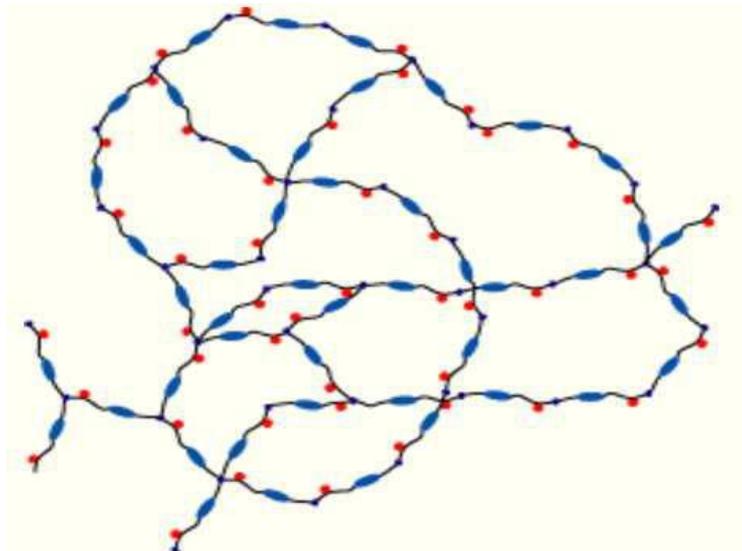


Fig.II.2. Structure d'un Thermodurcissable

Il y a environ six familles de produits : Phénoplastes, Aminoplastes, Epoxydes, Polyesters insaturés, Polyimides et polyuréthanes.

Ils sont appelés ainsi thermodurcissable, car une fois leurs formes acquises, elles ne peuvent être modifiées.

Parmi les thermodurcissables, on peut citer : résines phénoliques (PF), résines de polyester (UP), résines époxydes (EP) et résines de polyuréthane (PUR).[16]

II.2.2.b. Elastomères :

Les élastomères sont des matières réticulées d'une manière incomplète (figure I.4). Le degré de réticulation est faible à la différence des thermodurcissables. Les pontages permettent aux macromolécules de revenir en place plus ou moins rapidement après une déformation sous contraintes, c'est la propriété fondamentale des élastomères.



Fig. II.3. Structure d'un élastomère

Les liaisons entre les macromolécules sont de type chimique, les forces de cohésions physiques et des enchevêtrements agissent en compléments à ces liaisons. Il y a environ trois familles de produits : Caoutchoucs naturels, Polybutadiènes et Silicones.

Parmi les élastomères: Silicones (SI), Résines de Polyuréthane (PUR), Caoutchoucbutyle (IIR), Caoutchouc Terpolymère (EPDM) et Polyéthylène Chlorosulfoné (CSM).

Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants, des semelles de chaussures ou des pneus. [16]

II.2.2.c. Thermoplastiques

Comme son nom l'indique le matériau devient plastique par chauffage, le polymère est constitué de macromolécules linéaires ou ramifiés, la liaison entre elles est de type physique.

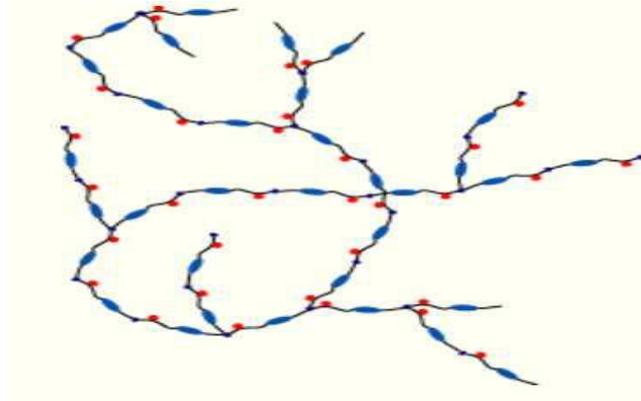


Fig. II.4. Structure d'un thermoplastique linéaire

A température ambiante, ce matériau est solide ; sous l'effet de la chaleur il devient souple, l'énergie thermique est suffisante pour vaincre les liaisons intermoléculaires et les molécules peuvent glisser les unes sur les autres (figure I.6) ; le polymère se ramollit, peut se déformer et être mis en forme. Après refroidissement, la forme donnée est figée. Cette opération peut être répétée : à nouveau chauffé, le polymère redevient malléable et peut être remis en forme. Exclusivement possédée par les polymères thermoplastiques, cette caractéristique permet le recyclage de ces matières.

Il y a environ dix familles : Acryliques, Cellulosiques, Polyfluoéthènes, Polyamides, Polyesters thermoplastiques, Polyoléfines, Styreniques, Polycarbonates, Sulfoniques, Polyvinyliques, Polyacétal

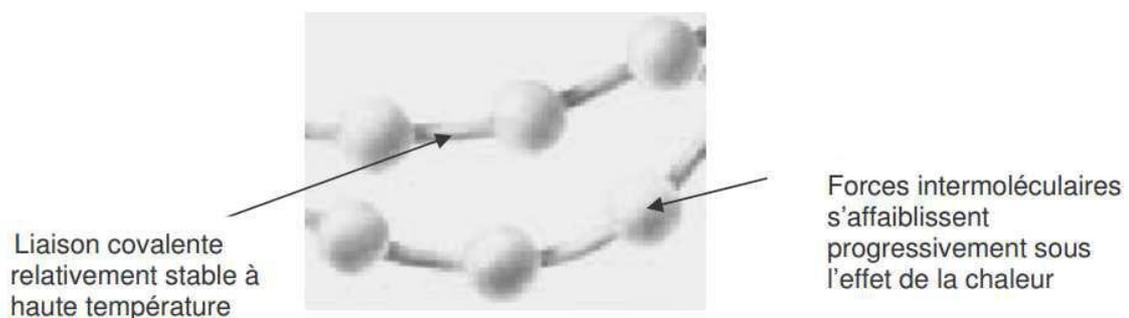


Fig.II.5.Forces des liaisons dans un thermoplastique

Les thermoplastiques sont composés de zones possédant un ordre cristallin, contiennent toujours des zones amorphes, dans lesquelles les macromolécules sont désordonnés ; ces matières sont dites semi cristallins (figure I.7). Exemple des thermoplastiques semi cristallins : PE, PET, PBT, PA, PVC, PTFE.... [16]

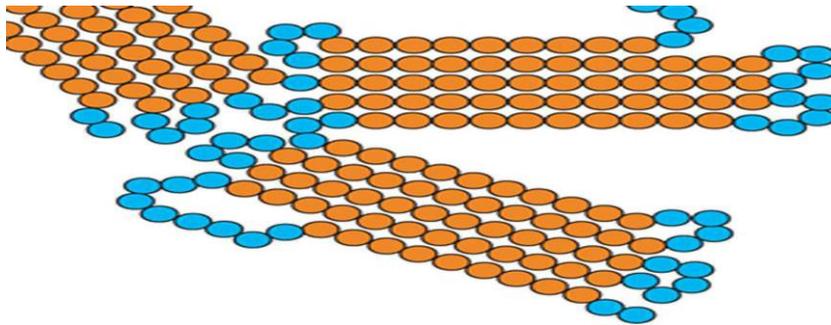


Fig.II.6.structure d'un polymère semi cristallin

II.1.2.3.Domaine d'utilisation :

- Vêtement et textile: fibres textiles, non tissés, skaï, simili cuir.
- Maroquinerie-chaussure : skaï, simili cuir, mousses isolantes
- Ameublement : skaï, simili cuir, colles, vernis, mousses
- Article ménagers: Tupperware, poubelles, seaux, vaisselle
- Sports- loisirs : cannes à pêche, coques de bateaux, piscines, bandes magnétiques,
- Emballage alimentaire (bouteilles, pots de yaourt, briques de lait, boîtes à œufs) ou industriel (flacons de détergents, sacs et sachets,casiers, sacs poubelles)
- Transport dont automobile : boucliers, carrosserie, optiques, planches de bord, habillage intérieur, réservoirs d'essence
- Industrie électrique et électronique: boîtiers, gainage de câbles, façades de téléviseurs
- Industrie chimique : tuyauteries, cuves, revêtements
- Bâtiment-travaux publique : peintures, isolation, revêtement de sol, tuyauteries, géotextiles
- Agriculture : irrigation, arrosage, serres, bâches
- Hygiène : verres de lunettes, lentilles de contact, prothèses, matériel hospitalier, couches. [17]

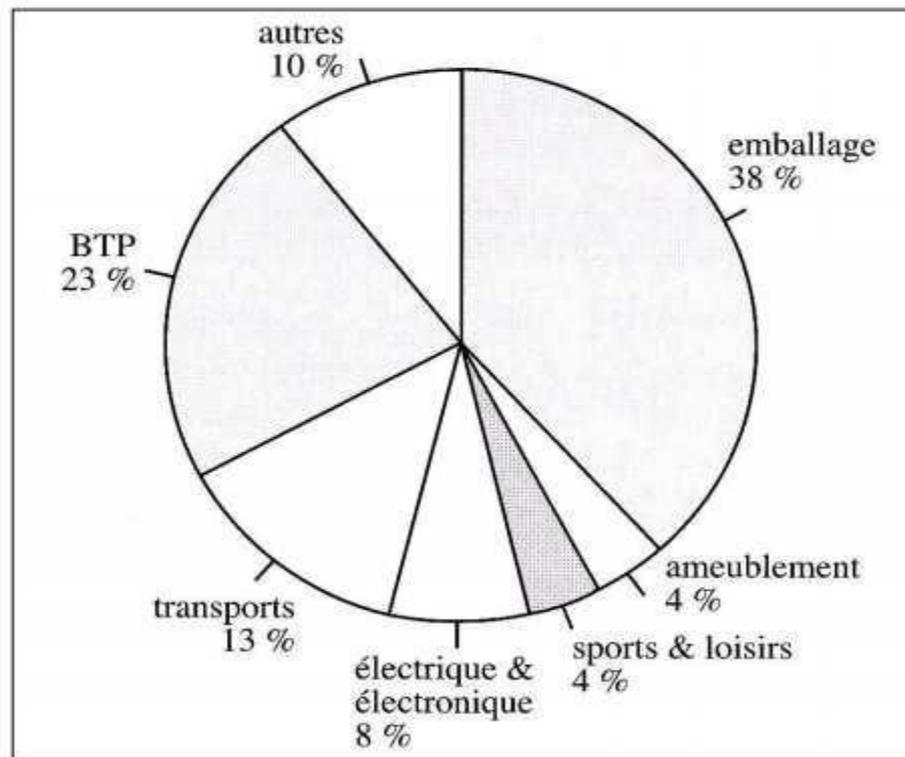


Fig.II.7.principaux domaine d'application des matières plastiques.

II.1.2.4.Mises en forme :

Une fois synthétisés, les polymères se présentent sous forme de poudres ou granulées, prêtes à être transformés en demi-produits ou en produits finis. Il existe également de nombreux procédés de transformation adaptés à la nature du polymère à mettre en œuvre et à la forme finale souhaitée :

- **Injection** : ce procédé permet de donner aux matières plastiques une fois ramollies la forme - simple ou complexe - du moule dans lequel elles ont été injectées ; exemples : palettes, coques de télévisions, boîtes, pots, tableaux de bord, ...
- **Extrusion** : cette méthode permet de fabriquer des produits en continu ; exemples : profilés, tubes, films, feuilles, sacs, plaques,....

- **Extrusion-soufflage** : les matières plastiques extrudées cette fois en discontinu (préformes) sont ensuite soufflées dans un moule pour en prendre la forme ; exemples : bouteilles, flacons, bidons, réservoirs, conteneurs,
- **Rotomoulage** : La matière plastique en poudre est introduite dans un moule clos puis est centrifugée sur les parois chaudes. On obtient par cette méthode des corps creux de gros volume ; exemples : cuves, réservoirs, conteneurs, ...
- **Expansion** : le moussage ou expansion des polystyrènes et des polyuréthanes permet de fabriquer des produits alvéolaires ; exemples : calage, sièges automobiles, ameublement, cassettes, ...
- **Compression** : cette méthode sert à mettre en forme les polymères thermodurcissables ; exemples : pièces plates (vaisselle, accessoires électriques,..).
- **Calandrage** : ce procédé permet d'obtenir des produits plats de grande largeur par laminage de la matière plastique entre plusieurs séries de rouleaux ; exemples : feuilles, plaques, films, sols plastiques.
- **Enduction** : couplée au calandrage, cette méthode permet de déposer une résine plastique sur un support continu (papier, carton, tissu) en décoration ou en protection ; exemples : revêtement de sols, de murs, mobilier, ...
- **Thermoformage** : après avoir été ramollis sous la chaleur, les demiproduits-thermoplastiques (plaques ou feuilles) sont emboutis sur une forme ; exemples : gobelets, pots de yaourts, cuves, ... [16]

II.1.2.5. Recyclage :

Après usage, les polymères entrent dans la composition des ordures ménagères (OM) et des déchets industriels banals (DIB). Les emballages constituent une part importante des déchets de matériaux plastiques. Ces déchets peuvent être mis en décharge, réutilisés après nettoyage (cas de certains bidons ou fûts), incinérés sans récupération d'énergie, ou valorisés (recyclage). Il existe trois grandes voies de valorisation :

la valorisation thermique : incinération avec récupération d'énergie, les polymères pouvant être assimilés à des hydrocarbures avec un certain pouvoir calorifique.

la valorisation chimique, qui convertit le polymère en de petites molécules, voire en les monomères initiaux (cas du PET), qui serviront de matières premières pour de nouvelles synthèses chimiques.

la valorisation matière : le principe du recyclage des matières plastiques est quasiment identique à celui de la fabrication des produits finis en thermoplastiques. La différence est que l'on remplace de la matière vierge par de la matière récupérée. Cela se fait quotidiennement en usine où l'on réintroduit dans le cycle de production les chutes, les lisières, etc., après simple broyage. Dans le cas d'OM ou de DIB, la valorisation comporte une étape de collecte sélective, une étape de traitement (broyage, nettoyage, lavage, séparation, granulation), et une étape de fabrication de nouveaux produits finis. Les propriétés de matières recyclées impures sont souvent médiocres.

On essaie d'y remédier en améliorant les procédés de séparation et de purification, en ajoutant de la matière vierge et en incorporant des additifs. La gestion des déchets se fait dans un cadre réglementaire et normatif de plus en plus contraignant (lois et décrets français, directives européennes, norme ISO 14000).

Ainsi, dans le cas des emballages le décret du 1^{er} avril 1992 rend responsable tout producteur utilisant des emballages de leur élimination. Les producteurs peuvent

assurer eux-mêmes l'élimination ou recourir aux services d'un organisme agréé auquel ils versent une contribution (par exemple, Eco-Emballages). La loi du 13 juillet 1992 avait même prévu qu'à partir de juillet 2002 seuls les déchets ultimes, c'est-à-dire non traitables, pourraient être mis en décharge. Cet objectif est loin d'avoir été atteint. D'autre part, selon les calculs économiques, il n'est pas évident que tolérer un certain pourcentage de mise en décharge ne soit pas aussi rentable qu'une valorisation complète. [18]

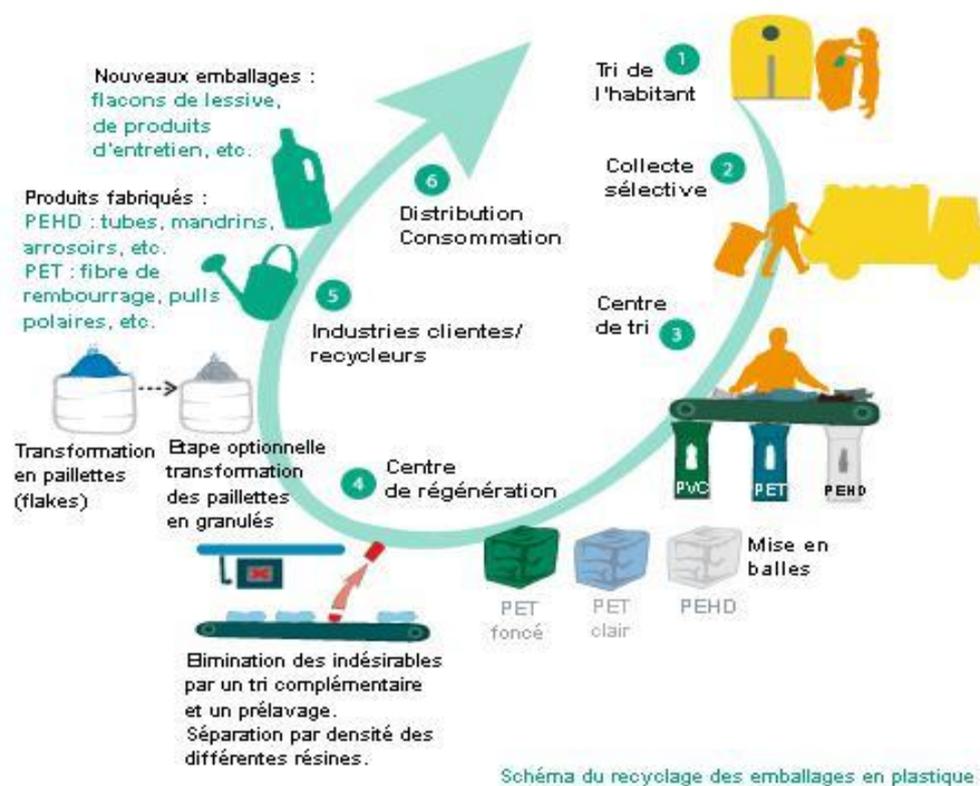


Fig.II.8.Schéma du recyclage des emballages en plastique

II.2. Le polypropylène :

II.2.1. Historique :

Le polypropylène PP à structure cristalline régulière. Natta emploie le terme « isotactique » pour décrire ce polymère. Les chaînes d'un polymère isotactique peuvent se rapprocher les unes des autres pour former un solide ordonné. Plus tard, il mettra au point des catalyseurs stéréospécifiques permettant l'obtention systématique de tels polymères.

Le polypropène atactique (app), matériau amorphe affichant une faible résistance mécanique, présente peu d'intérêt industriel. Le polypropylène commercial le plus courant est l'iPP. Le polypropène syndiotactique (spp), industrialisé à partir de 1992, tend à se développer. Cette matière, différente de l'iPP, peut être obtenue en utilisant des systèmes à base de métallocènes[19]

II.2.2. Présentation du polypropylène :

Le polypropylène est un polymère vinyle obtenu à l'aide de catalyseurs de organométalliques de Ziegler-Natta et à partir propylène ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$) à travers la réaction de polymérisation par addition[19].

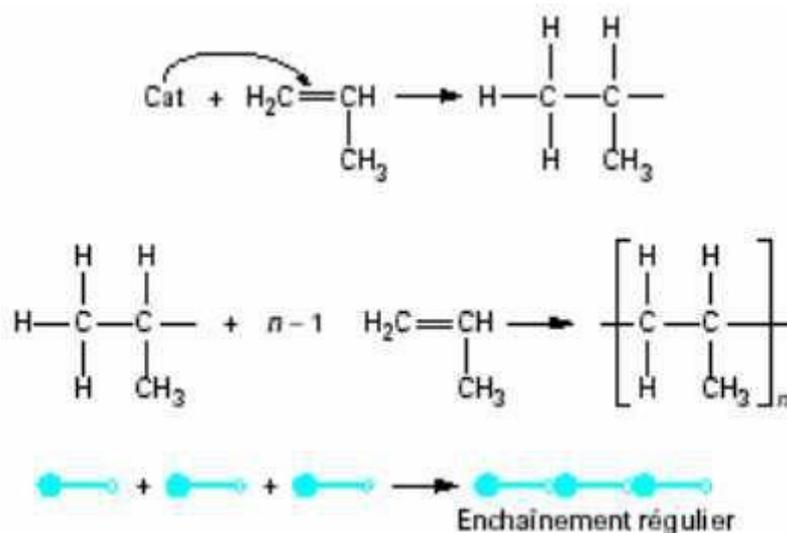


Fig.II.9. Schéma représentatif de la réaction de polymérisation du propylène.

II.2.3 .Propriétés du polypropylène:[20]

Propriétés	Unités	Valeurs
PROPRIETES PHYSIQUES		
Densité	g/cm³	0,91
Absorption d'eau à 23 °C HR 50 %	%	0,02
Dureté	Echelle D	73-100
Résilience	KJ/m²	SR 10
Allongement à la rupture	%	650
Résistance à la traction	N/mm²	21-37
Module d'élasticité en traction	N/mm²	1300
Etat à 20°C	-	Très dur
PROPRIETES THERMIQUES		
T° d'utilisation en continu	°C	-30/+100

Tableau.II.1. Propriétés du polypropylène

Suite du tableau II.1. Propriétés du polypropylène

T° maxi d'utilisation temporaire	°C	140
Point de Fusion	°C	180
Coefficient de dilatation thermique linéaire	10 ⁻⁵ mm/°C	15
T° de déformation sous charge 1,85 N/mm ²	°C	65
Conductivité thermique	W/°C.m	0.22
Classement au feu	-	HB
<i>PROPRIETES ELECTRIQUES</i>		
Rigidité diélectrique	KV/mm	80
Résistivité transversale	Q/cm	10 ¹⁸
Constante diélectrique 10 ³ HZ	-	-
Tangente angle perte 10 ³ Hz 10exp6 HZ	-	-

Suite du tableau II.1. Propriétés du polypropylène

<i>PROPRIETES CHIMIQUES</i>	
Résistance	Acides, alcalis, solutions salées, solvants, alcools, benzine, eau, huiles, graisses, détergents, jus de fruits, lait.
Non-résistance	Acides oxydants, hydrocarbures aromatiques, xylol, éviter le contact avec le cuivre

II.2.4. Applications : 21

On trouve beaucoup de pièces moulées en polypropylène pour la construction automobile :

- Les pare-chocs;
- Les tableaux de bord;
- L'habillage de l'habitacle;
- Les réservoirs d'essence et de liquide de frein.

Le polypropylène est aussi beaucoup utilisé pour les emballages alimentaires pour sa résistance à la graisse et son aspect brillant:

- Emballages de beurre.
- Les pailles à boire.

Il est également utilisé pour la fabrication de:

- Tissus d'ameublement (mais pas de tissus d'habillement).
- Sacs tissés à haute résistance.
- Géotextiles et de géomembranes.

II.2.5. Avantages et inconvénients:

Le polypropylène présente de nombreux avantages : il est bon marché, alimentaire (inodore et non toxique), indéchirable, très résistant à la fatigue et à la flexion (fabrication de charnières), très peu dense, chimiquement inerte, térialisable et recyclable. C'est de plus un excellent isolant électrique.

Par contre, il est fragile (cassant) à basse température, sensible aux UV, moins résistant à l'oxydation que le polyéthylène et difficile à coller. Sa production en masse est source d'impacts environnementaux et de consommation de pétrole, ainsi que d'émission de gaz à effet de serre. Son impression ou certains additifs (fibres, métaux lourds, ignifugeants) peuvent rendre son recyclage difficile ou impossible de manière rentable. Les progrès de l'écoconception dans la plasturgie pourraient faciliter le tri et le recyclage de ce matériau.

[22]

II.2.6. Recyclage du PP :

Le succès du polypropylène est dû à la versatilité de ses propriétés qui entraîne une diversité d'utilisation. D'ailleurs le polypropylène est utilisé pour les moulages industriels et automobiles, les tuyaux, les grands et petits conteneurs comme les emballages des produits chimiques qu'ils soient domestiques ou autres, les caisses de batterie d'automobiles, etc... Il peut être noté ici que ces utilisations et la réutilisation dans le même produit ne présentent aucun problème sanitaire.

L'effet des recyclages multiples sur les propriétés du polypropylène est aux contraintes thermomécaniques subies lors de leur mise en forme, les polymères ont tendance à se dégrader. Le polypropylène subit principalement des coupures de chaînes. Cette dégradation entraîne une modification des propriétés mécaniques et rhéologiques du recyclât. [19]



Fig.II.10.photo de polypropylène recyclé

II.3.Polyéthylène téréphtalate PET:

Le polyéthylène téréphtalate est un polymère de la famille des polyesters. Ce thermoplastique est obtenu par polycondensation de l'acide téréphtalique et éthylène glycol accompagnée de libération de deux molécules (élimination d'eau). [23]

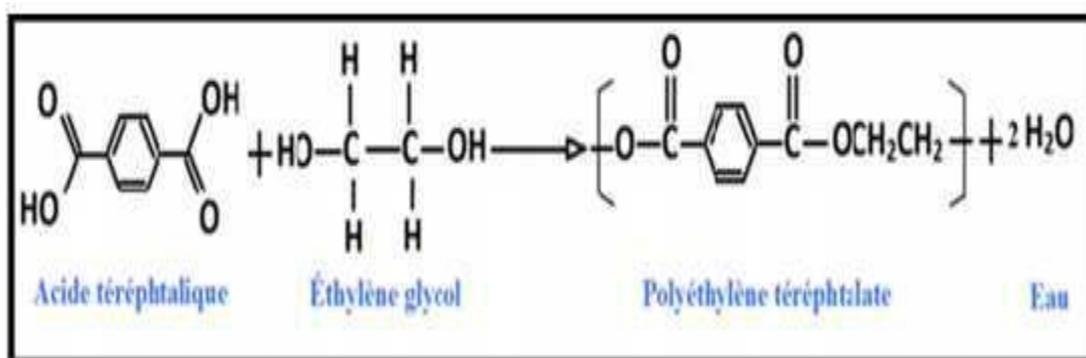


Fig.II.11.Méthode de synthèse du polyéthylène téréphtalate par polycondensation

II.3.1. Propriétés de PET : 24

Propriétés	Unités	Valeurs
Propriétés mécaniques		
Coefficient de frottement	-	0.2-0.4
Coefficient de poisson	-	0.37-0.44 (orienter)
Dureté	Rockwell	M94-101
Module de tension	Gpa	2-4
Résistance à la traction	Mpa	80-film biaxe 190-260
Résistance aux chocs	$J m^{-1}$	
Propriétés physiques		
Absorption d'eau- équilibre	%	< 0.7
Absorption d'eau-24 heures	%	0.1
Densité	$G cm^{-1}$	
Indice de réfraction	-	1.58-1.64

Suite du tableau II. Propriétés de PET

Indice limite d'oxygène	%	21
Inflammabilité	-	HB
Résistance à la radiation	-	Bonne
Propriétés thermiques		
Chaleur spécifique	$\text{J K}^{-1} \text{Kg}^{-1}$	1200-1350
Coefficient d'expansion thermique	$\text{X}10^{-6} \text{K}^{-1}$	20-80
Temps. de déflexion à la chaleur 0.45 MPA	$^{\circ}\text{C}$	115
Temps. de déflexion à la chaleur 1.8 MPA	$^{\circ}\text{C}$	80
Temps. maximale d'exploitation	$^{\circ}\text{C}$	115-170
Temps. minimale d'exploitation	$^{\circ}\text{C}$	-40 0 -60
Conductivité thermique à 23C	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.15-0.4

Suite du tableau II. Propriétés de PET

Propriétés électriques		
Constantes diélectriques à 1MHz	-	3.0
Facteur de dissipation à 1MHz	-	0.002
Résistance diélectrique	kV mm ⁻¹	17
Résistivité de surface	Ohm/m	10 ¹³
Résistivité volumique	Ohm cm	>10 ¹⁴
Propriétés chimiques		
Résistance	Acides dilués, alcools, cétones, graisses et huiles, hydrocarbure aromatiques	
Non-résistance	Acide concentré, les alcalins, halogènes, hydro-carbones halogènes	
Résistivité de surface	Ohm/carré	10 ¹³
Résistivité volumique	Ohm cm	>10 ¹⁴

Suite du tableau II. Propriétés de PET

Propriétés chimique	
Résistance	Acides dilués, alcools, cétones, graisses et huiles, hydrocarbure aromatiques
Non-résistance	Acide concentré, les alcalins, halogènes, hydro-carbones halogènes

*Tableau.II.2. Propriétés de PET***II.3.2.Utilisation :**

Le PET est donc une matière plastique, elle est principalement utilisée dans les bouteilles de boisson, les rembourrages de peluche ou de coussin, les fibres textiles dites polaire pour la confection de vêtements (notamment à base de PET recyclé), les films transparents à bas coût pour les applications d'optique (écrans LCD, instrument), les emballages jetables de toutes sortes (boîtes pour les salades, plateaux de présentation, etc.), les lunettes d'observation des éclipses de Soleil (nécessaire métallisé)[25].

II.3.3. Recyclage du PET :

Le polyéthylène téréphtalate est un thermoplastique recyclable qui garde ses bonnes propriétés électriques et mécaniques. Bien que le recyclage demande des coûts énormes, il reste relativement moins cher que le PET vierge. Le traitement et le recyclage du PET issu des composants post-consommés nécessitent la bonne connaissance et la maîtrise de la chimie et la physique des polymères ainsi que des procédés de fabrication (Awaja, 2005).

La présence de certaines substances lors du retraitement peut contaminer et dégrader le PET et nuire à son recyclage. Le recyclage du PET se fait selon deux différents modes.

Chimiquement, par dépolymérisation complète afin de récupérer ses monomères qui sont l'acide téréphtalique (TPA). Le diméthyle téréphtalate (DMT) et le monoéthylène glycol (MEG) ou partielle pour récupérer les oligomères. Il peut également se faire mécaniquement par la séparation du PET des autres différents composants grâce à leur différence de densité (Swoboda, 2007). [23]



Fig.II.12.polyéthylène téréphtalater recyclé

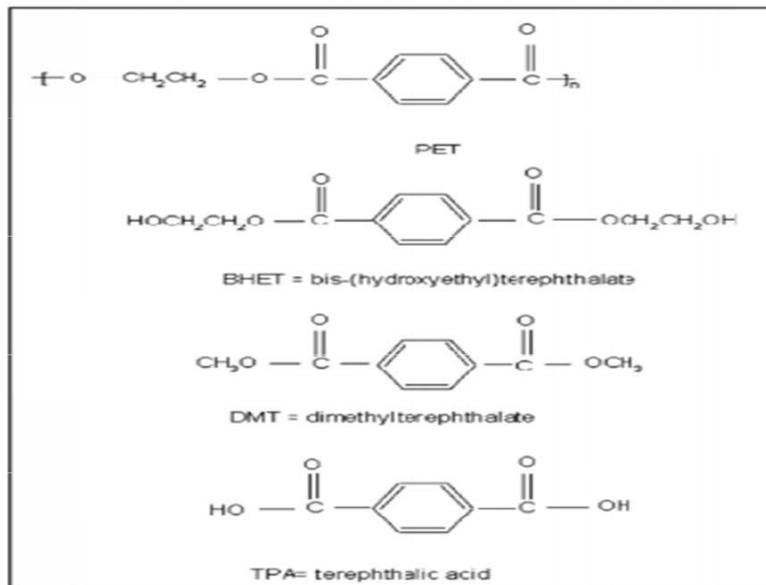


Fig.II.13. Structure des composants issus du processus de dépolymérisation du PET

II.4.Polyéthylène haute densité:

Comme son nom l'indique, le Polyéthylène est issu de la polymérisation de l'éthylène ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$), en une structure complexe de formule générique : $\text{-(CH}_2 - \text{CH}_2)_n\text{-}$. Il appartient à la famille des polyoléfines, ces derniers sont uniquement composés de carbone et d'hydrogène ; leur formule chimique est du type $(\text{CH}_2)_n$. Ces deux principales familles sont le PEBD (Polyéthylène à Basse Densité) et le PEHD (Polyéthylène à Haute Densité). [16]



Fig.II.14. polyéthylène haute densité recyclé

II.4.1. Propriétés PEHD :

Propriétés	Unités	Valeurs
Propriétés physiques et chimiques		
Masse volumique	-	0.945-0.960
Taux de cristallinité	%	65-80
Masse molaire moyenne	g/mol	Jusqu'à 8 million de g/mol
Indice de polymolécularité		Faible
Propriétés mécaniques		
Contrainte au seuil	Mpa	24-30
Résistance à la traction	Mpa	800-1200
Résistance à la flexion	Mpa	1150-1500
Propriétés thermiques		
Température de fusion	C°	128-135
Transition vitreuse	C°	-110
Conductivité thermique		Faible

Tableau.II.3. Propriétés de polyéthylène haute densité

II.4.2.Application :

- **Applications primaires :**

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.

- **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.

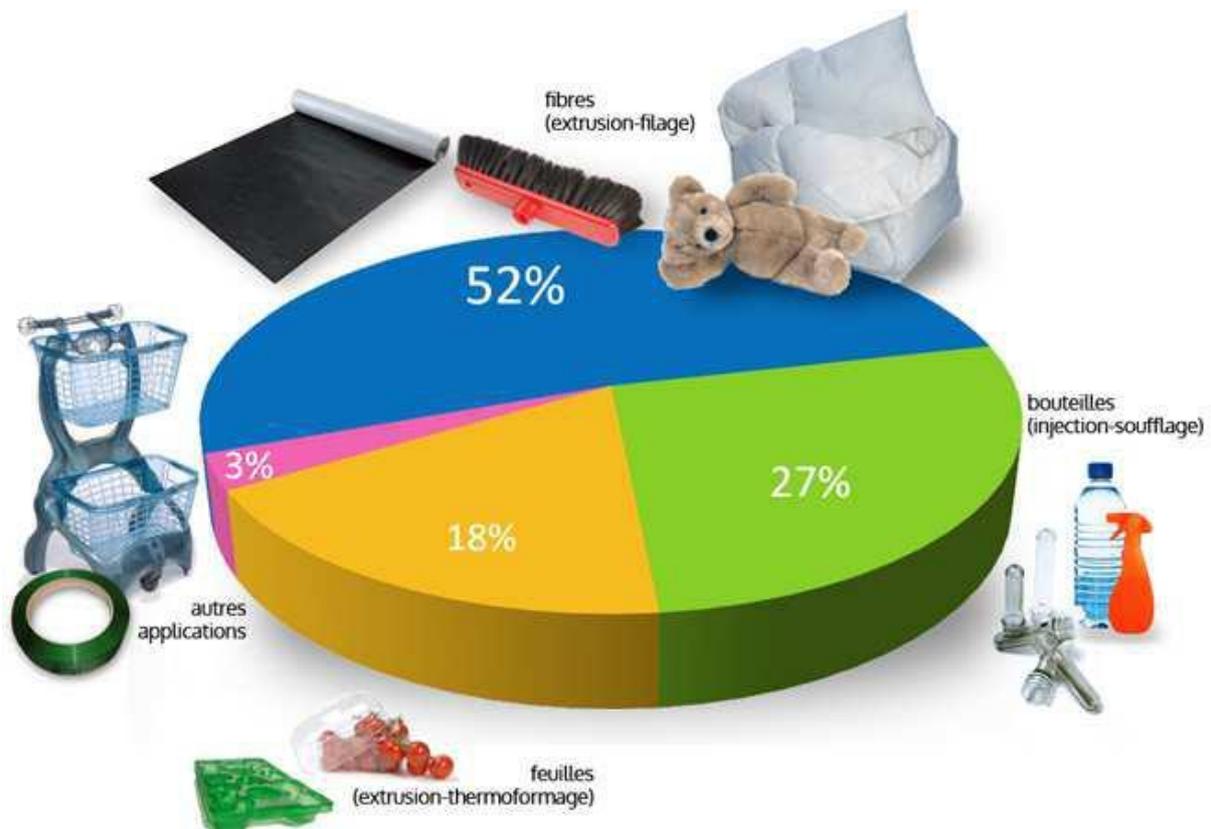


Fig.II.15.cycle de différentes applications de plastiques recyclé en pourcentage

Chapitre III

Les Argiles

III.1. Introduction

L'argile est un matériau de la couche superficielle de l'écorce terrestre. Elle se forme le plus souvent par altération des minéraux et des roches sous l'action des eaux de surface. Sa genèse peut être due à l'action d'eaux hydrothermales. Dans l'un et l'autre cas, il y a un lien étroit entre l'existence de l'argile et de l'eau. D'ailleurs l'argile est toujours un « phyllo silicate hydraté » ; son étude, confiée aux minéralogistes, a conduit à une définition des propriétés physiques et chimiques qui en permettent une meilleure utilisation.

Les argiles sont considérées actuellement comme des minéraux très sensibles, et facilement altérables, en quelque sorte des « structures en évolution ». C'est cette particularité qui est à la base de la plupart de leurs utilisations, et qui en a fait la « matière première » employée par l'homme dans les temps les plus reculés. [1]

III.2. Généralités sur les argiles

III.2.1. Définition

Nous considérerons deux définitions de l'argile : l'une granulométrique, ce sont des particules de taille inférieure à $2 \mu m$ [1] d'un sol ou d'une formation géologique, et l'autre minéralogique, c'est-à-dire les argiles correspondent à des minéraux aluminosilicates, le plus souvent de la famille des phyllosilicates, qui sont formés des particules dont les unités de bases sont des feuillets de très faible épaisseur (7, 10 ou 14 Å). Les deux définitions (granulométrique et minéralogique) se recoupent, mais ne sont pas équivalentes. En effet si les minéraux argileux sont le plus souvent constitués de particules inférieures à $2 \mu m$, la fraction granulométrique inférieure à $2 \mu m$ d'un sol ou d'une formation géologique comprend très souvent d'autres minéraux que les seuls minéraux argileux (quartz, silice colloïdale, carbonates, etc...). Compte tenu de la granulométrie des particules, et de leur structure (association de feuillets de très faible épaisseur). Les matériaux argileux développent des surfaces spécifiques très élevées, comprises entre 5 et $800 \text{ m}^2/\text{g}$, ce qui leur confère des propriétés d'adsorption très importantes. [2]

Ce qui caractérise les argiles c'est donc une série de structures, et de dimensions qui fait apparaître au niveau des interfaces les conséquences de la constitution cristallographique. Les lecteurs trouveront, dans cet ouvrage, outre les propriétés, la nomenclature, la classification, les conditions de genèse, ainsi que les applications et usage actuels de l'argile. [1]



Fig.III.1.Les argiles

III.2.2.Classification

La classification est basée sur des notions structurales : le nombre de couches octaédriques et tétraédriques.

Il existe différentes classifications des argiles, la plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet, on distingue ainsi 3 groupes: [3]

Les argiles phylliteuses ou phyllosilicates :

- Minéraux à 7 Å :

Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique il est qualifié de T:O ou 1:1, son épaisseur est d'environ 7Å. Par exemple la Kaolinite et Halloysite.

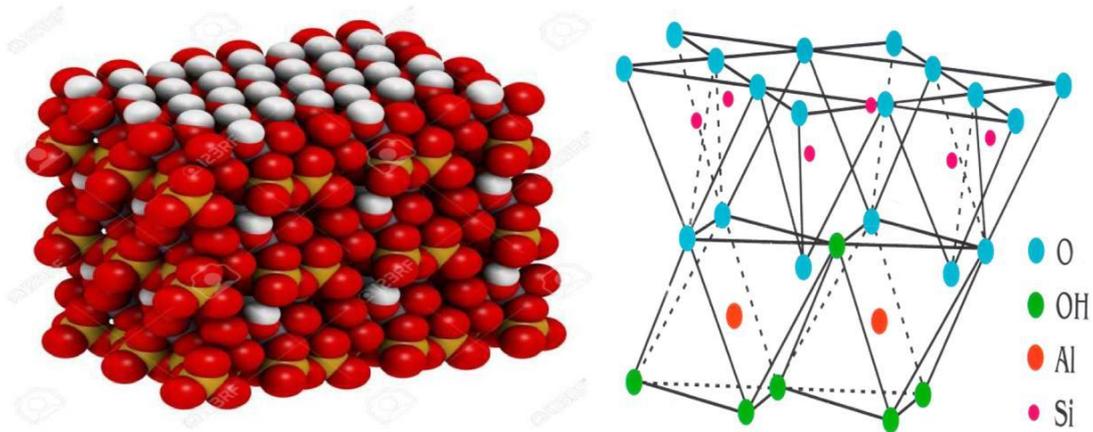


Fig.III.2. Structure de kaolinite

- Minéraux à 10 Å :

Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique, il est qualifié de T:O:T ou de type 2:1, son épaisseur est d'environ 10Å. Par exemple la Montmorillonite, Illite et le Pyrophyllite.

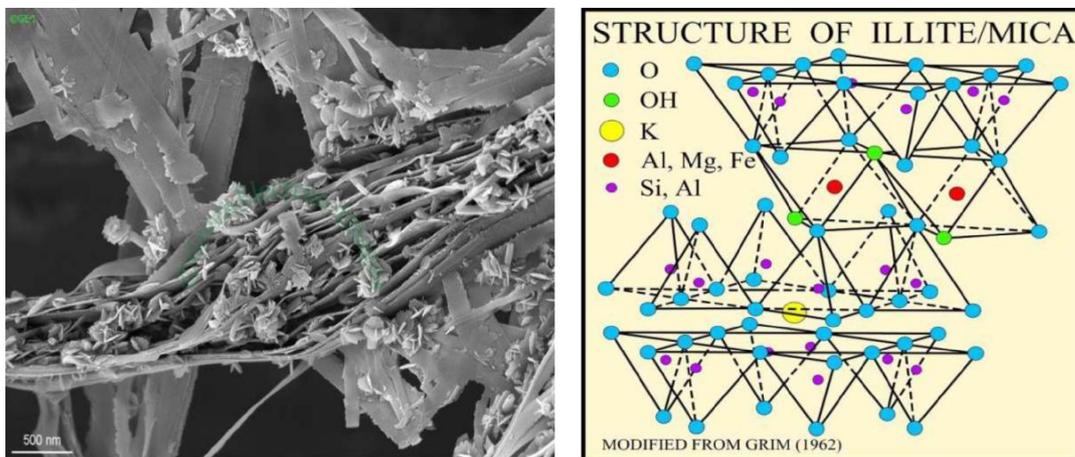


Fig.III.3.La structure d'illite

- Minéraux à 14 Å :

Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T:O:T et de couches octaédriques interfoliaire. Par exemple le Chlorite.

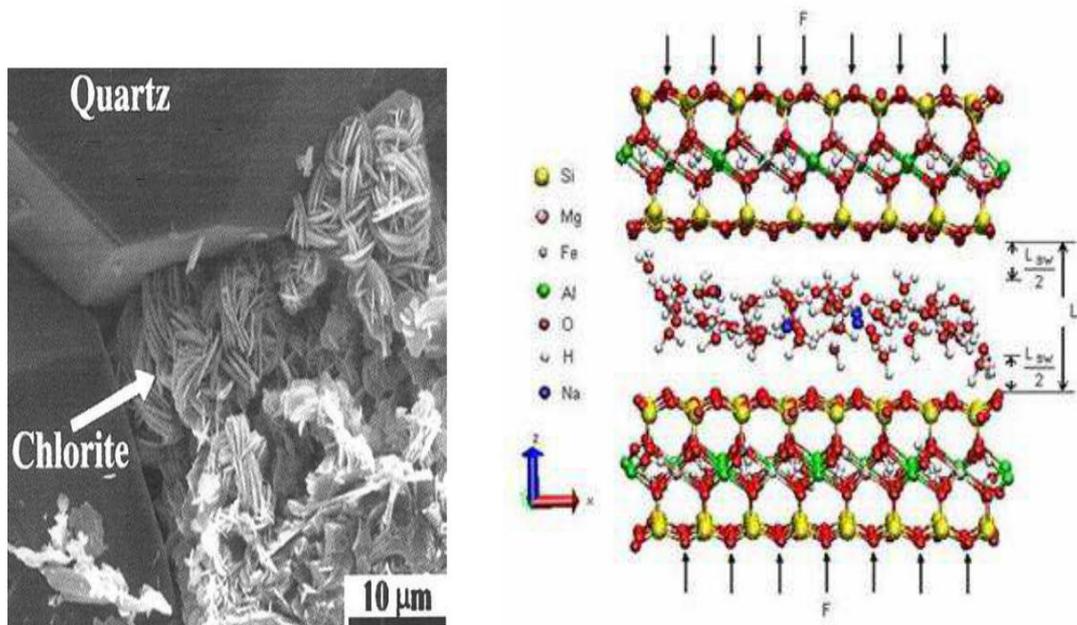


Fig.III.4.La structure de Chlorite.

Les minéraux interstratifiés

L'épaisseur du feuillet est variable, ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argile. Trois types d'interstratification peuvent exister :

a). Structure ordonnée ou régulière :

Deux types d'argiles A et B se suivent selon une loi simple : AB. AB. AB... par exemple la Réctorite (Pyrophyte, Vermiculite) et la Coronite (Chlorite, Chlorite gonflante).

b). Structure irrégulière :

Ne suit aucun ordre régulier complètement désordonnée comme la Bravaisite (Illite, Montmorillonite) et l'Hyrobiote (Vermiculite, Biolite).

c) .Structure à couche ségrégé:

La structure de ces minéraux est très complexe, plusieurs paquets de phyllosilicates alternants.

Les minéraux fibreux:

Les argiles fibreuses regroupent les Sépiolites et les Pallagorskites dont la structure est en ruban ou monodimensionnelle différent phyllosilicates dont le réseau est bidimensionnel.

Groupe de minéraux argileux	Espèce minérale	Structure T – couche de tétraèdres O – couche octaèdre						
<i>Kaolinites</i>	Kaolinite, Halloysite Dickite	Minéraux à 2 couches T- O T- O						
<i>Smectites</i>	Montmorillonite Saponite, Beidellite Nontronite	Minéraux à 3 couches T-O-T T-O-T						
Illites Vermiculites Micas	Illite, Vermiculite Muscovite Biotit	H ₂ O Cations						
Chlorites	Chlorite	Minéraux à 4 couches T-O-T-O T-O-T-O						
Sépiolites Palygorskites	Sépiolite, (écume de mer) Attapulgite	Minéraux en lattes <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>T-O-T</td> <td></td> <td>T-O-T</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T-O-T</td> <td></td> </tr> </table>	T-O-T		T-O-T		T-O-T	
T-O-T		T-O-T						
	T-O-T							

Tableau III.1. Classification des principaux groupes de minéraux argileux

Cette classification est déduite des travaux de McKenzie (1975), et Brindley (1996). Parmi l'ensemble d'argiles citées dans le tableau 1.1, le plus important pour notre étude est le groupe des smectites, ce sont des phyllosilicates constitués des deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique (phyllosilicates 2:1). Les minéraux les plus importants de cette famille sont la montmorillonite, la beidellite, l'hectorite et la saponite. La charge élevée de ces argiles est due pour l'essentiel à des structure isomorphiques, cette charge est donc permanente, négative et indépendante du PH.

Des cations compensateurs viennent alors se placer dans l'espace interfoliaire pour combler le déficit de charge, ces argiles ont une capacité d'échange cationique élevée. Des molécules d'eau sont susceptibles d'intercalers' dans l'espace interfoliaire et le degré d'hydratation dépend de la nature du cation hydraté et de l'humidité relative. [04]

III.3. Les smectites

Comme nous l'avons déjà indiqué plus haut, ce type de phyllosilicates est constitué des deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique.

Les minéraux les plus importants de cette famille sont la montmorillonite, la beidellite, l'hectorite et la saponite. Cette famille d'argile est composée de particules plates d'une grande extension latérale avec des diamètres allant de quelques microns à plusieurs centaines de microns. [5]

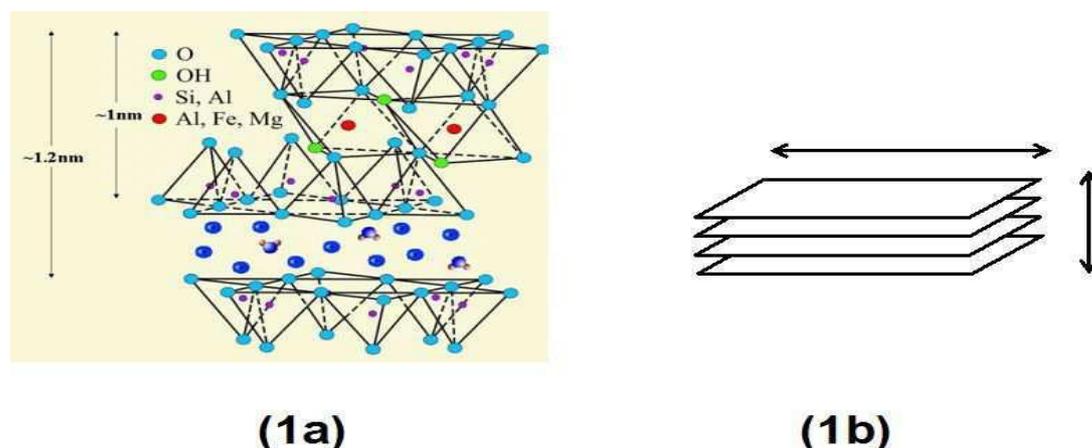


Fig.III.5. Empilement des feuillets d'argile (les surfaces basales, les bordures des particules et les espaces interfeuillets). b) Représentation de l'empilement des feuillets unitaires dans une smectite.

La formule générale d'une demi-maille est $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Al}_{(2-x)}\text{R}_x(\text{OH})_{2\text{CEx}} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, où CE symbolise les cations échangeables et R représente le magnésium dans les montmorillonites. (On trouve cependant de nombreuses variétés chimiques où R représente des cations comme Fe^{2+} ou Mn^{2+}). Des substitutions cationiques existent le plus souvent aussi bien dans les couches octaédriques (Al^{3+} par Fe^{2+} ou Mg^{2+} , Si^{4+} par Al^{3+} ou Fe^{3+}), entraînant un déficit de charges dans le feuillet, qui devient négativement chargé. La charge élevée de ces argiles est due essentiellement aux substitutions isomorphiques. Cette charge est donc permanente, négative et dépendante du pH. Des cations compensateurs viennent alors se placer dans l'espace interfoliaire pour combler le déficit de charge ; en se situant aux endroits les moins encombrés et les plus proches des centres déficitaires.

Des molécules d'eau sont susceptibles de s'intercaler dans l'espace interfoliaire, dont le degré d'hydratation dépend de la nature du cation hydraté et de l'humidité relative [3]. Cette possibilité de « gonflement des espaces interfoliaires conduit à désigner ces argiles par le terme « argiles gonflantes ». D'un point de vue textural, les smectites sont généralement constituées de feuillets de grande extension latérale, associés les uns aux autres en nombre très variable selon l'humidité et la nature du cation échangeable [6].

III.4. Généralités sur la bentonite

Les bentonites sont des argiles du type montmorillonite que l'on exploite en carrières. Ces minéraux sont surtout des silicates d'alumine dont la forme cristallographique est très stable et composée d'empilements de feuillets. La cohésion entre feuillets est faible, ainsi le clivage est aisé. Les bentonites naturelles :

Les bentonites sodiques qui sont les plus rares (gisements du sud dakota, Wyoming) ont un pouvoir de dispersion en eau douce élevée. A noter que les Américains désignent souvent les bentonites sodiques naturelles sous le nom de « High grade », « High yield » ou « western » bentonite qu'il existe aussi au Wyoming des bentonites calciques naturelles.

Les bentonites calciques que l'on trouve dans la plupart des gisements y compris au Wyoming ont un pouvoir de dispersion beaucoup plus faible.

Le pouvoir de gonflement des bentonites calciques est fortement amélioré si l'on remplace le cation échangeable (calcium) par le cation sodium. La majeure partie des produits commercialisés appartient à la catégorie des bentonites activées, celle-ci sont enduesr sodiques par traitement chimique (l'échange de cations est obtenu par traitement au carbonate de sodium, soit par voie sèche). Les argiles ainsi traitées donnent les bentonites dites « moyen rendement » (MR).

Les bentonites traitées avec un dopant organique (dérivés cellulosiques, acide acrylique ou des dérivés de celui-ci...) fournissent des bentonites dites « haut rendement » (HR) ou dopées.[7]



Fig.III.6.Bentonite

III.4.1.Définition

La bentonite est une roche argileuse, friable, tendre et onctueuse au toucher, sa teinte dépend des composés minéraux et impuretés atière(m organique et oxydes des métaux) qui lui sont étroitement associés. Elle est blanche, grise ou légèrement jaune. Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement [8], [9], [10]

III.4.2.Origine de la bentonite

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectite. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, Etats-Unis). Elle contient plus de 75 % de montmorillonite ; cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France) [11], [12], [10]

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'oranie (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia

(Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes

III.4.3. Structure de la bentonite

La montmorillonite (Figure N°03) est le constituant principal de la bentonite. C'est un phyllosilicate 2 : 1 (famille de smectites) dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale, des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , NH_4^+ et Na^+) situés principalement entre ces couches silicates ; ces cations ne font pas

III.4.4. Application de la bentonite :

Les bentonites ont de larges applications dans différents domaines (forage, fonderie, céramique, peinture, pharmacie, terres décolorantes, ..., etc). La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage

Chapitre IV

Méthodologie et

appareillage

I. Introduction :

L'objectif de ce travail est de préparer deux mélanges à base de trois polymères recyclés (Polypropylène (PP)-Polyéthylène téréphthalate(PET)/Polyéthylène haut densité (PEHD)) avec ou sans l'addition de la bentonite (de Maghnia), afin de fabriquer des géomembranes. En comparant si la bentonite améliore ses propriétés.

Plan de travail : Ce travail est résumé dans l'organigramme suivant :

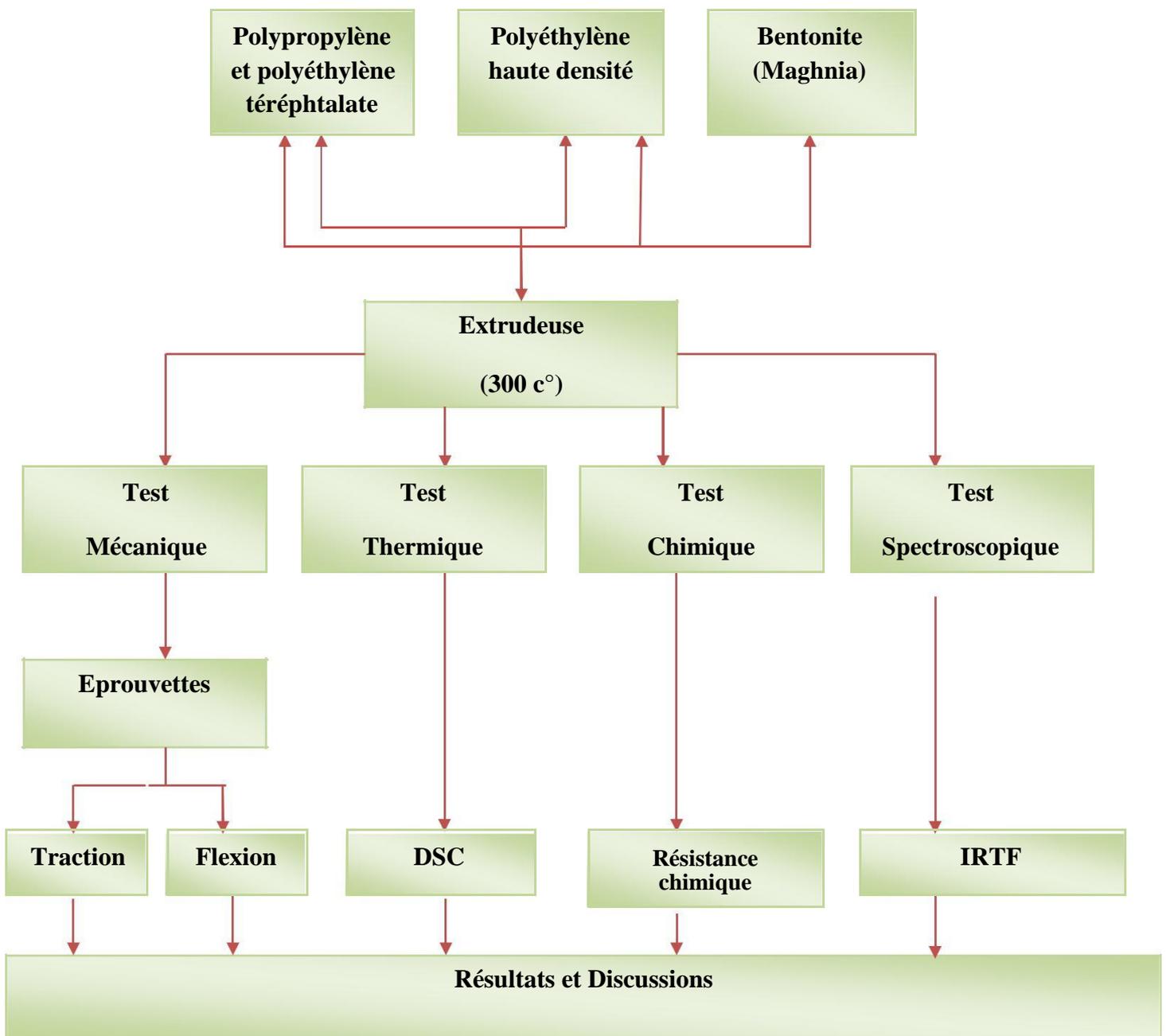


Fig.IV.1.Plan de travail

I.1. Matériaux utilisés :

Polypropylène (PP) et polyéthylène téréphtalate (PET) :

Le polypropylène (PP) utilisé est un polymère recyclé et déjà mélangé avec polyéthylène téréphtalate (PET) (% PP > % PET) 20(% de PET dans 80% de PP), il est sous forme de granulats.

Sa formule chimique $-(CH_2-CH-CH_3)_n-$. Il est obtenu par polymérisation du propène à l'aide de catalyseurs. Grâce à sa structure moléculaire, il se décline en un grand nombre de PP aux propriétés variables. Le polypropène est plus rigide, plus dur et plus résistant que le PE, mais moins que d'autres plastiques plus nocifs. Le PP devient cassant à basse température (moins de 0°C), mais il peut être employé jusqu'à environ 160°C. Inodore et sans incidence sur la santé, il convient parfaitement aux utilisations dans le domaine alimentaire.

Le PET ou Polyéthylène téréphtalate est un plastique rigide. Il possède des propriétés très intéressantes qui en font un matériau idéal pour l'emballage des denrées alimentaires.

C'est un matériau sûr, avec un rapport robustesse/ poids exceptionnel. D'une clarté idéale, il présente une très bonne barrière aux UV (le PET fait écran aux UV jusqu'à 350nm), et au CO₂. Ces deux derniers avantages sont très importants pour préserver les qualités organoleptiques de la denrée contenue dans l'emballage en PET.

Contrairement à d'autres matériaux d'emballage, il est 100% recyclable.

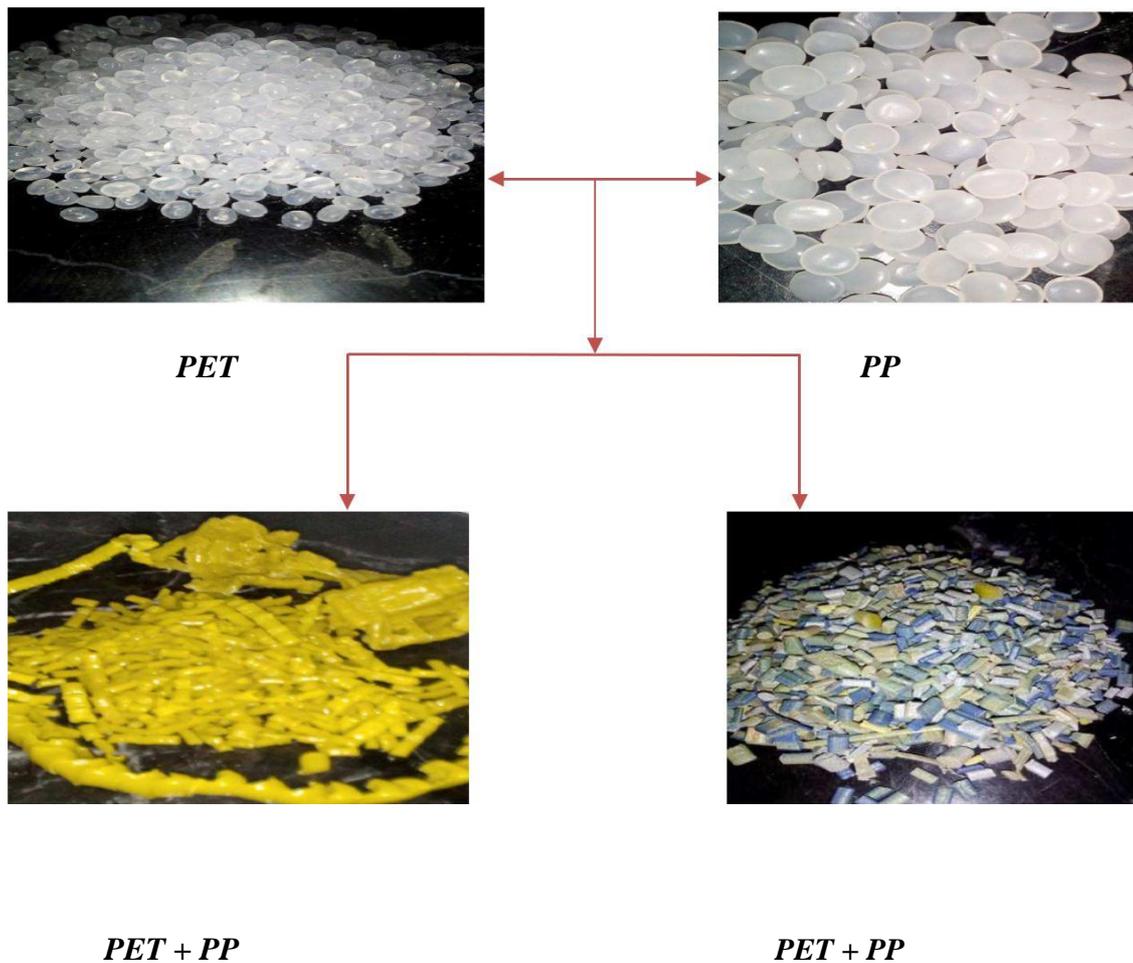


Fig.IV.2.Les matières première de nos produits

Polyéthylène haute densité (PEHD) :

Le PEHD Polyéthylène haute densité, qui présente 50% du marché et se retrouve dans les bouteilles de jus de fruits, de détergents. Il est opaque ou translucide, rigide, résistant aux chocs, étanche, imperméable aux corps gras et barrière aux produits chimiques.

Le polyéthylène de haute densité utilisé (PEHD) est un polymère recyclé sous forme de granulat de couleur blanche.



Fig.IV.3. PEHD recyclé

Bentonite :

La bentonite est une argile aussi connue sous le terme de terre à foulon.

Cette argile utilisée dans des domaines très variés (industriel, alimentaire, médical, bâtiment) dispose de propriétés physiques particulières diverses dont certaines sont très utiles en génie climatique.

La bentonite de Maghnia est utilisée notamment comme une charge. Quelques caractéristiques physiques de la bentonite de Maghnia sont données dans le tableau ci-dessous.



Fig.IV.4. Bentonite

Surface Spécifique	872 m ² /g
(Gs)	2.72
Indice de Gonflement (Free Swell Index)	35 cm ³ /g
Absorption d'Eau à la Plaque (Plate Water)	900%
Valeur au Bleu	29.41
Ratio de gonflement (β)	6.20
pH	10.1
Limite de Liquidité	216%
Indice de Plasticité	120%
Limite de Retrait	11%
Teneur en Eau - à la livraison -	12%

Tableau.IV.1. Caractéristique physique de la bentonite

Géomembrane de type PEHD :

Géomembrane en PEHD (géomembrane réellenormalisé) utilisée dans le but de faire une comparaison avec nos produits



Fig.IV.5.Géomembrane réelle

I.2.Préparation de mélanges :

Deux différents mélanges ont été préparés (PP-PET/PEHD) avec et sans l'addition de la bentonite, les compositions et les pourcentages pour les deux mélanges sont:

Le premier mélange :

- 63% PP+ PET.
- 25 % PEHD.
- 12% bentonite.

Le deuxièmémélange :

- 69% PP+PET.
- 31% PEHD.

Condition de travail

- Température est du 300 c°.
- La vitesse de la machine 200m/min.
- Temps de malaxage quelques minutes environ 3 min.

Etapas suivie

Nos mélanges ont été préparés à l'état fondu dans une extrudeuse de marque "Granulatrice"

Pour chaque composition désirée, les produits sous forme de granulés (PP/PET/PEHD) sont introduits dans l'extrudeuse avec une température de 300 C°

Pour ceci nous avons procédé de la manière suivante :

Pour extruder nos polymère, on alimente en granules un fourreau cylindrique thermo régulé à l'intérieur du quel tourne une vis sans nfi.

On introduit nos mélanges (PP / PEHD/ PET) avec ou sans la bentonite dans l'extrudeuse, à 250 c° ces derniers se fendent e t se mélangent et devient homogène similaire à une pâte par l'effet de la chaleur et du cisaillement à l'aide de deux vis en fin .

Nos produits sont ensuite transportés vers une filière qui conférera à la masse plastique la forme de la feuille désirée.

Dès la sortie de la filière, il y a unecalandre à 3 cylindres horizontaux, permettant un refroidissement presque instantané de la feuille. Les cylindres servent au lissage de la feuille, lui donnant son aspect final

Cette calandre est suivie d'un train de tirage avec découpe des lisières intégrées (qui sont recyclées en continu)

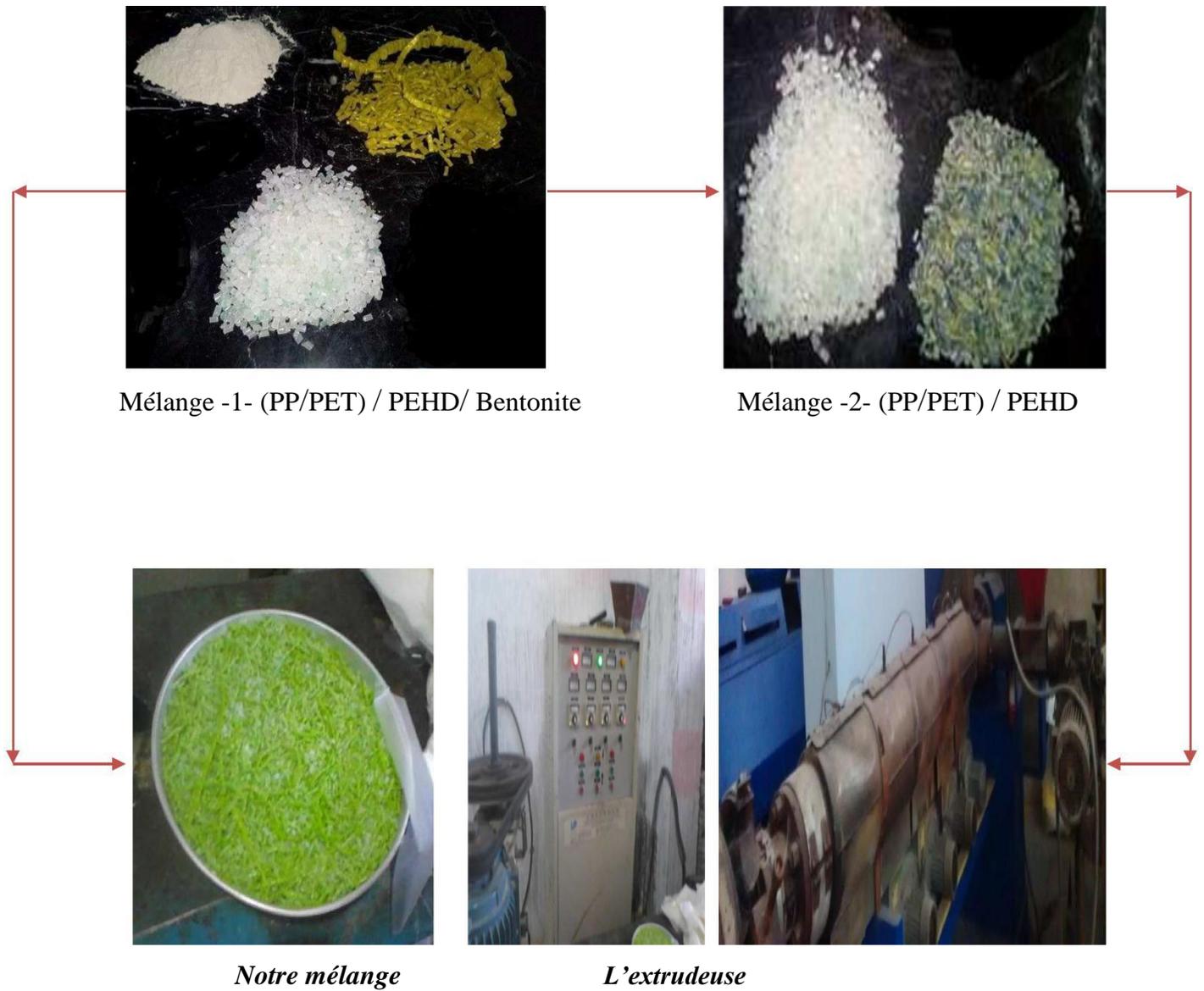


Fig.IV.6.photos des étapes suivie pour la préparation de nos mélanges

Test effectués :**Tests mécaniques****Préparation des éprouvettes**

Les éprouvettes destinées aux essais mécaniques (résistance à la traction, et résistance à flexion) ont été moulés par compression à l'aide d'une machine de découpe pour plastique et caoutchouc de type 'CEAST'.



Fig.IV.7. machine de découpe pour plastique et caoutchouc 'CEAST'

Le produit est placé sur une plaque métallique et pressé ensuite par le moule qui convient pour chaque essai (traction et flexion).

Test de la résistance à la traction :

L'essai de traction sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la

résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'un grand hall. Dans la recherche on l'applique pour la caractérisation de nouveaux

matériaux et dans industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages, des polymères et des céramiques.

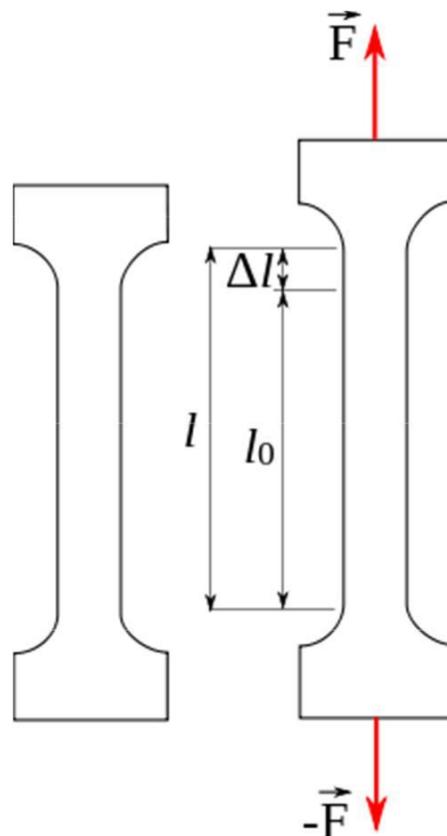


Fig.IV.8. Schéma de traction

Les éprouvettes de tests de traction, fabriquées selon la norme "ISO 527" dimension (115 x 25 x 6mm), sont soumises à l'essai à l'aide d'un appareil "Zwick/Z010" assisté par un ordinateur.

Après avoir fixé la longueur initiale à la valeur de 115 mm, l'éprouvette est encastrée entre les deux mors dont l'un est fixe, et relié à un capteur de force 10KN et l'autre est mobile, relié à un système d'entraînement ayant une vitesse d'étrépage de 40 mm/min.

La courbe de traction présentée par la contrainte en fonction de la déformation directement visualisée sur l'écran en même temps qu'il essai.

Les paramètres E_r , σ_r , ϵ_r , sont respectivement le module de Young, la contrainte à la rupture, la déformation à la rupture. Ces paramètres sont donnés par l'ordinateur pour chaque éprouvette testée.



Fig.IV.9.éprouvettes de traction

Test de la résistance à la flexion :

Cet essai est réalisé sur une éprouvette sous forme de barre ou cylindre entre trois points d'appuis, on applique un effort sur le point central.

La résistance à la flexion permet de déterminer le niveau de sollicitation admissible en flexion pour une pierre dans un ouvrage, compte tenu de coefficients de sécurité adaptés. La connaissance de cette caractéristique est indispensable pour des applications structurelles (revêtements de façade, dalles sur plots, traverses supérieures, ...) où la pierre sera utilisée en flexion.

Par ailleurs, tout comme la résistance à la compression, la résistance à la flexion est souvent utilisée comme caractéristique d'identification d'une pierre ou en comparaison avec des valeurs de référence, comme indicatrice d'une altération après vieillissement.

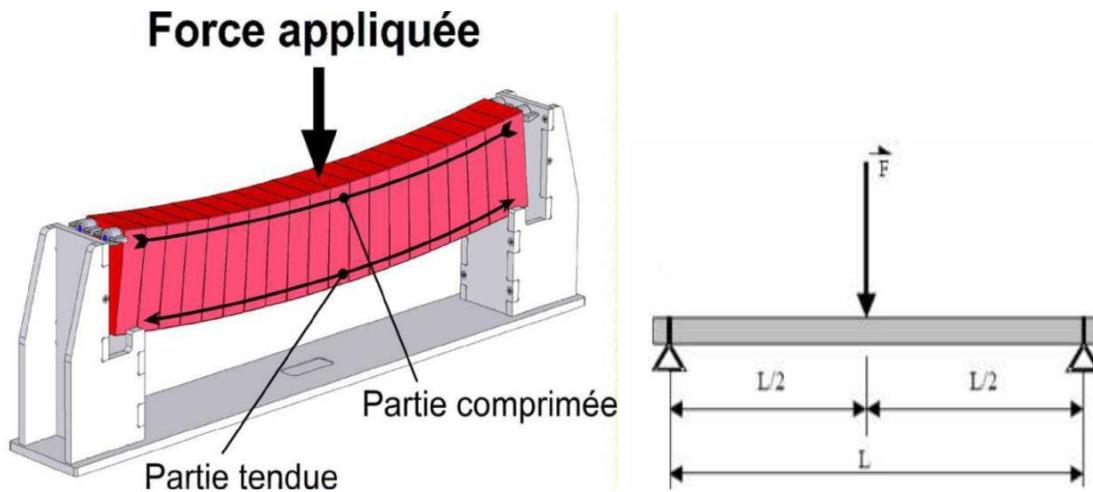


Fig.IV.10.schéma de flexion

Les éprouvettes de test de flexion, fabriquées selon la norme NFT 51-001 dimension (100 x 20 mm), sont soumises à l'essai à l'aide d'un appareil de flexion Zwick/Roell (référence Z2.5KN).

La contrainte maximale à la rupture a été déterminée par flexion 3 points sur des barreaux de longueur 100 mm, d'épaisseur [1.5, 0.98] mm et de largeur de 20mm.

L'éprouvette repose sur deux appuis simples, distants de $b = 70$ mm avec un déplacement de 3mm/min.



Fig.IV.11.éprouvettes de flexion

Test chimique :**Résistance à l'attaque chimique**

La plupart des polymères organiques (et des matériaux correspondants) sont, de par leur structure caténaire, considérés comme des composés « vivants », car sensibles à leur environnement et sujets au vieillissement. La dégradation d'un polymère est le changement, généralement non désiré, de ses propriétés physiques et mécaniques, causé par des facteurs environnementaux plus ou moins agressifs : attaque d'un produit chimique tel un acide concentré ce facteur agit souvent en synergie. La dégradation peut rendre le matériau inutilisable.

- Les matériels et matières utilisés sont :

Matières	Matériels
<ul style="list-style-type: none"> - Acide sulfurique (98%) - Eau distillé 	<ul style="list-style-type: none"> - Balance analytique - Bicher - Etuve de séchage - Eprouvette graduée

Tableau.IV.2.Les matières et matériaux utilisés

Analyses spectroscopiques :**Caractérisation par IRTF :**

La spectroscopie infrarouge permet une analyse qualitative des molécules organiques. En effet elle permet de déterminer la présence de groupements fonctionnels dans une molécule organiques.

Le principe de la spectroscopie repose sur l'interaction entre la composante électrique de la radiation incidente avec les moments dipolaires des groupements chimiques constituant l'échantillon. Chaque bande de spectre d'absorption est caractéristique d'un mode de vibration. La spectroscopie infrarouge fournit ainsi des renseignements sur la nature des groupements d'atomes et sur leur environnement chimique.

L'appareil utilisé est un spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier, Thermo Nicolet iS-10, piloté par un logiciel de traitement d'analyse Omnic 9. Nous avons travaillé en mode ATR (réflexion totale atténuée) mono-réflexion avec un cristal ZnSe. Le contact entre l'échantillon et le cristal est assuré par un système de serrage dynamométrique appliquant une pression contrôlée sur l'échantillon. La cellule ATR permet d'obtenir des spectres représentés soit en transmission (%T), soit en absorbance ($A = \log 1/T$), en fonction du nombre d'onde dans la plage entre 4000 - 600 cm^{-1} .

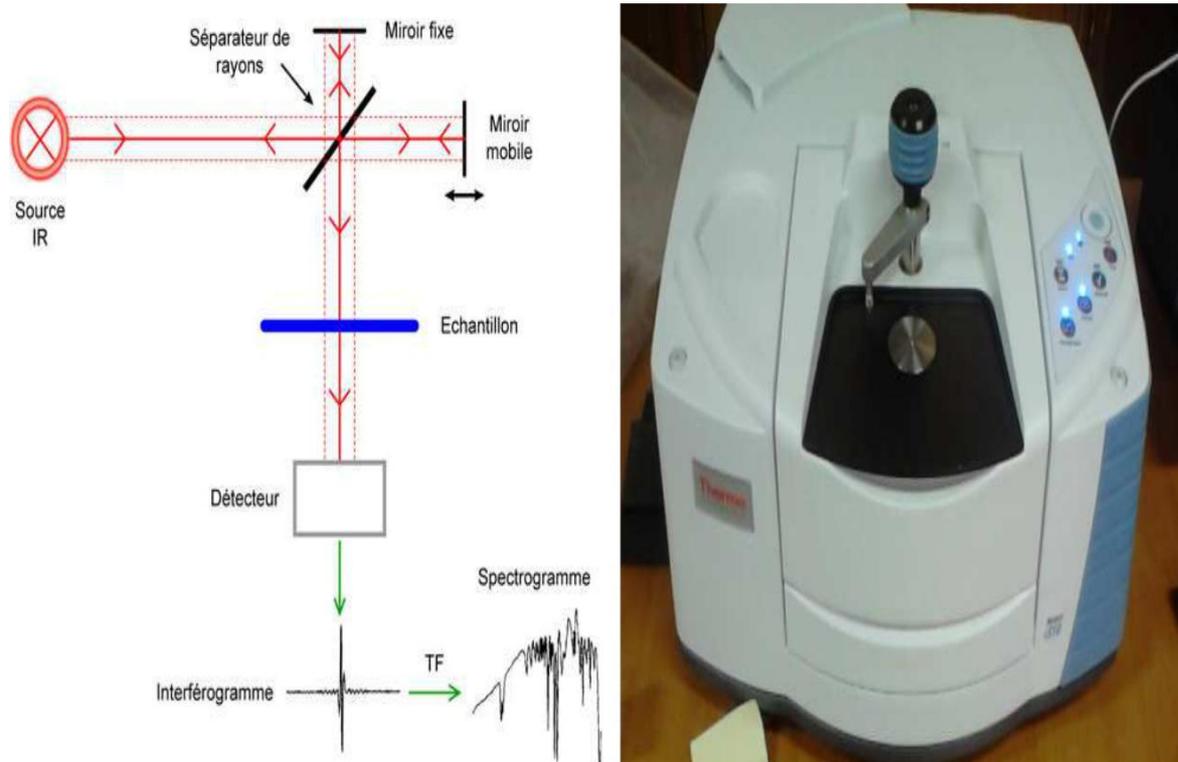


Fig.IV.12. Schéma et appareil de l'analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge

Test thermique :

Analyse calorimétrique différentielle (DSC)

Le principe de la calorimétrie différentielle à balayage (differential Scanning Calorimetry) consiste à mesurer le flux de chaleur nécessaire pour maintenir un échantillon à la même température qu'une référence au cours d'un chauffage ou d'un refroidissement (quantités d'énergie mises en jeu lors d'une transformation physique (fusion, cristallisation, transition vitreuse) ou d'une transformation chimique (polymérisation ,réticulation ,...))

Expérimentalement l'échantillon et la référence sont placés chacun dans une coupelle placée sur une plaque thermoélectrique (constant) elle-même placée dans le four dont la température est programmé. Sous l'emplacement des deux coupelles est soudé un thermocouple permettant l'enregistrement d'une tension proportionnelle à la différence de température entre les deux coupelles .Lorsque l'échantillon subit une transformation endothermique ou exothermique, la compensation de la puissance calorifique dQ/dt en fonction de la température permet ainsi de déterminer les variations d'enthalpie.

Nous avons utilisés pour tous nos échantillons et l'appareil DSC Evo 131 Setaram équipée de logiciel Calisto .La calibration de la température et l'enthalpie se fait en utilisant les températures les enthalpies de fusion de l'indium et du zinc .Chaque essais est réalisé sur quelque dizaine de milligramme de l'échantillon celui-ci subit un cycle thermique comportant un 1^{er} chauffage à $90\text{c}^\circ/\text{min}$ une vitesse de $10\text{c}^\circ/\text{min}$, et un refroidissement à la même vitesse jusqu'à 20c° .Cette 1^{er} étape sert à effacer l'histoire thermique du matériau. On effectue une seconde fusion à une vitesse de balayage de $10\text{C}^\circ/\text{min}$ suivie d'un refroidissement à la même vitesse de la chauffe.

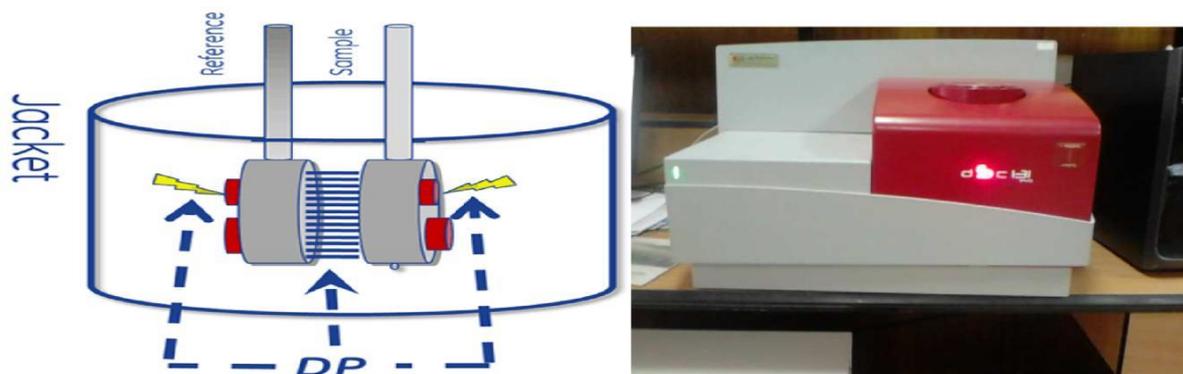


Fig.IV.13.Schéma et appareil de la DSC

CHAPITRE V

CHAPITRE V

Interprétation des

Interprétation des

résultats

résultats

A partir des différents tests effectués DSC, (IR, Traction, Flexion, Résistance à l'attaque chimique) sur les échantillons préparés, on a caractérisé les différentes propriétés des mélanges PEHD/PP/PET et PEHD/PP/PE/Bentonite, puis on a fait une comparaison entre nos mélanges et une géomembrane réelle en PEHD.

V.1. Résultat de la résistance à la traction :

Fig.V.1.et Fig.V.3. représentent la résistance à la traction variation(de contrainte à la rupture N/mm^2 en fonction de l'allongement en %) pour les mélanges [PEHD/PP/PET] [PEHD/PET/PP/ Bentonite], [Géomembrane réelle PEHD], dans les deux sens.

a) Sens longitudinale :

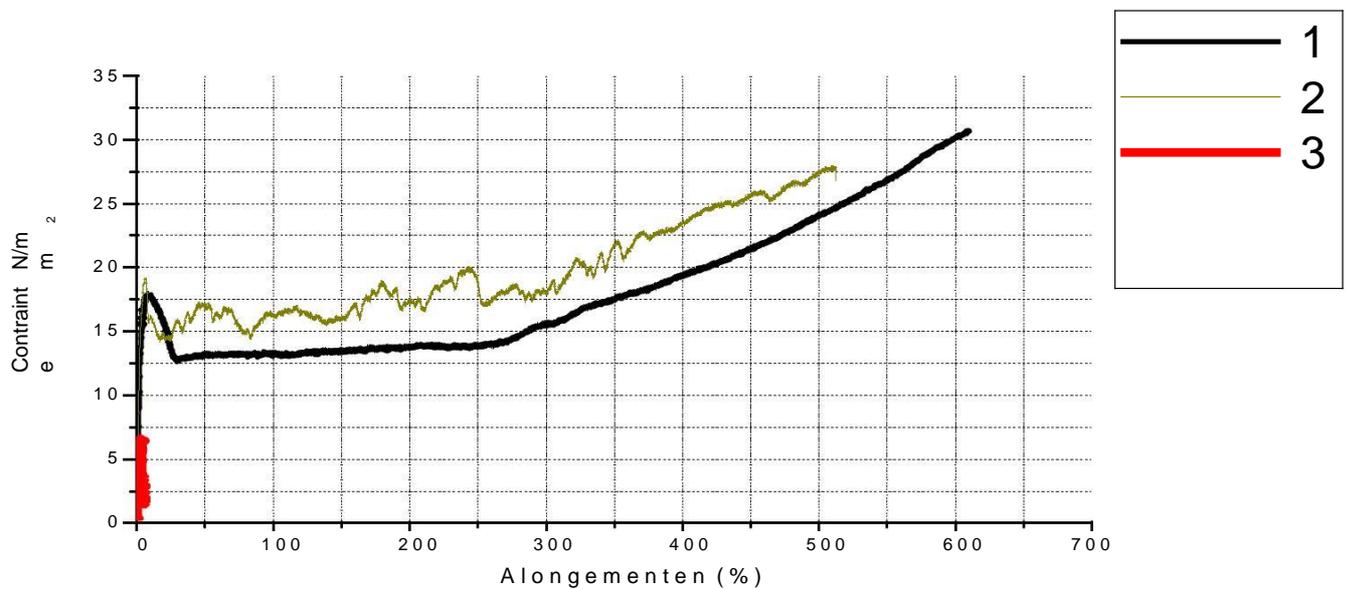


Fig.V.1. Variation de la contrainte à la rupture des mélanges [(PP/ PET/PEHD), [PET/PEHD/PP], [PEHD] en fonction de l'allongement

- 1 — PEHD
- 2 — PEHD / PP/PET + Bentonite
- 3 — PEHD/PP/PET

Il est observé d'après les résultats des essais de traction, représentés sur la Fig.V.1 que la résistance à la traction subit une augmentation avec l'accroissement de l'allongement.

On voit que :

La courbe noire [PEHD] est allongée à 600%, la courbe rouge [PEHD/PP/PET] à 20mm tant que la courbe verte [PEHD / PP/PET + Bentonite] est arrivée jusqu'à 530 %

De ces valeurs obtenues, on conclut que, l'ajout de la bentonite au mélange [PET/PEHD] (courbe verte) a amélioré ces propriétés par rapport au mélange [PET/PEHD] (courbe rouge).

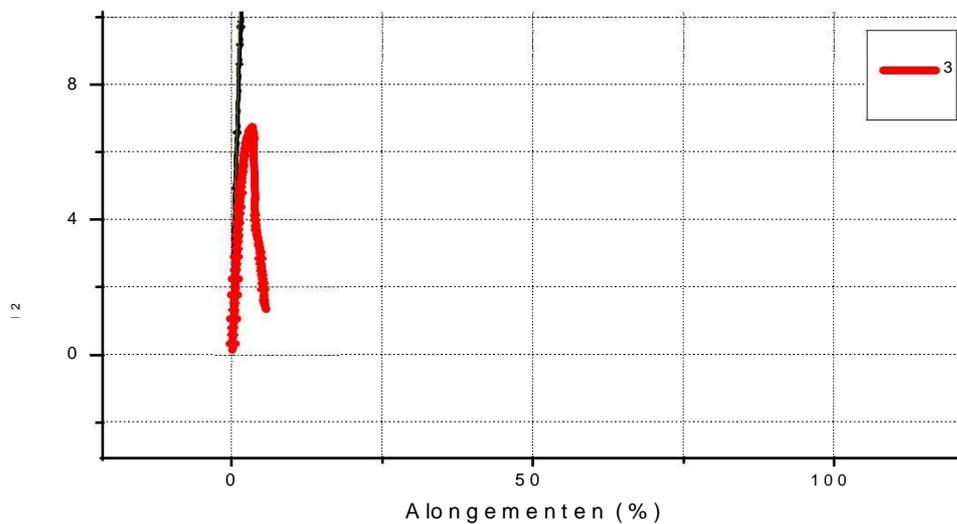


Fig.V.2. Variation de la contrainte à la rupture de s mélanges [(PP/ PET/PEHD)] sens longitudinale

b) Sens transversale

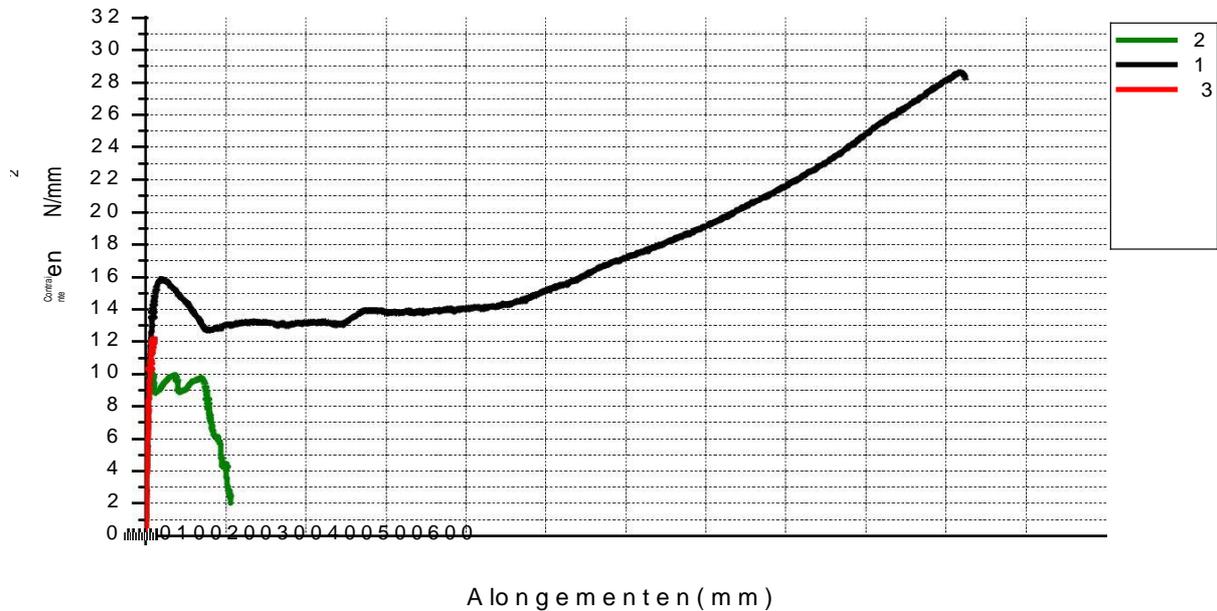


Fig.V.3. Variation de la contrainte à la rupture des mélanges [PP/ PET/PEHD], [PET/PEHD/PP], PEHD en fonction de l'allongement

Il est observé d'après les résultats :

La courbe noire [PEHD] c'est allongée à 510 %, la courbe rouge [PEHD/PP/PET] à 10 % tant que la courbe verte [PEHD/PP/PET+ Bentonite] est arrivé jusqu'à 55 %

On constate que les résultats de la réaction transversale obtenues, sont inférieurs par rapport aux résultats de traction longitudinale.

On conclut que nos matériaux sont anisotropes, cette anisotropie peut être expliquée par le sens de l'extrusion, et l'homogénéité.

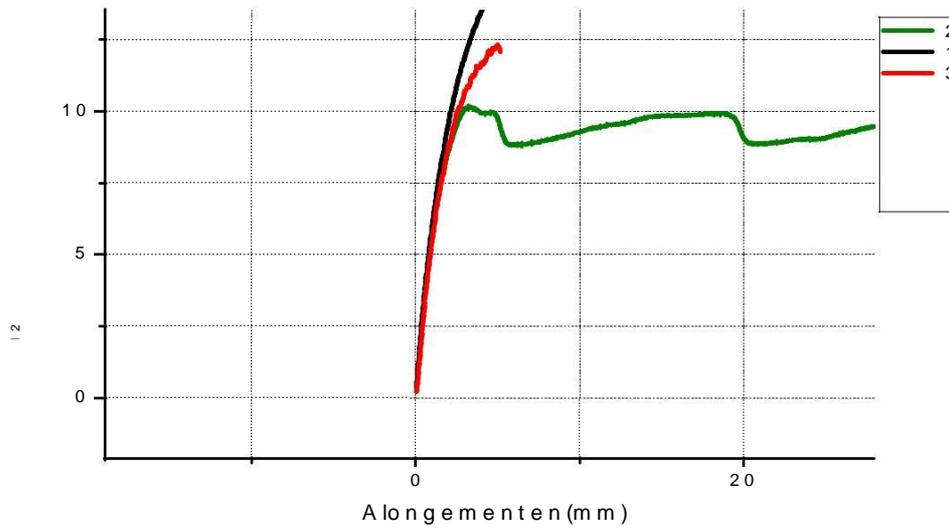


Fig.V.4. Variation de la contrainte à la rupture des mélanges [(PP/ PET/PEHD)] sens transversal

a) longitudinal



Fig.V.5. Echantillon 1 (mélange [PEHD/PP/PET/Bentonite])



Fig.V.6. Echantillon 2 [PEHD] (géomembrane réelle)

b) Transversal

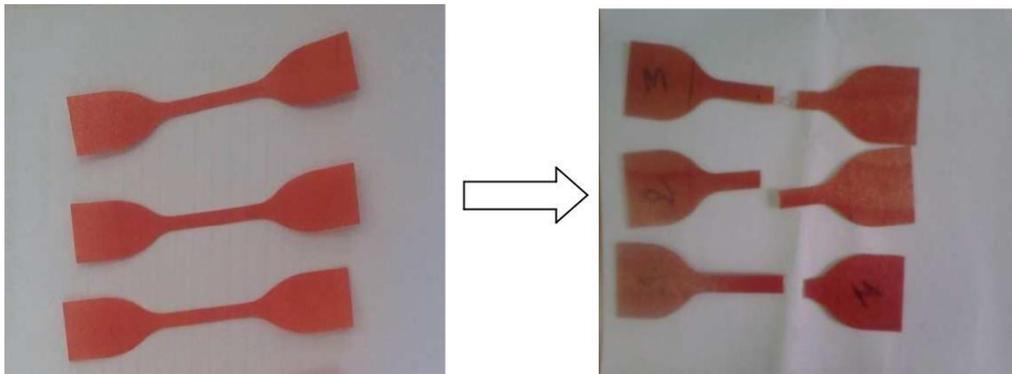


Fig.V.7.Echantillon 1 (mélange [PEHD/PP/PET/ Bentonite])

V.2.Résultat de la résistance à la flexion:

L'essai de flexion a été réalisé pour trois échantillons : géomembrane réelle de type PEHD, produit (1) [PP-PET/PEHD recyclés/Bentonite], produit(2) [PP-PET/PEHD recyclés], les résultats obtenus sont regroupés dans la figure ci-dessous.

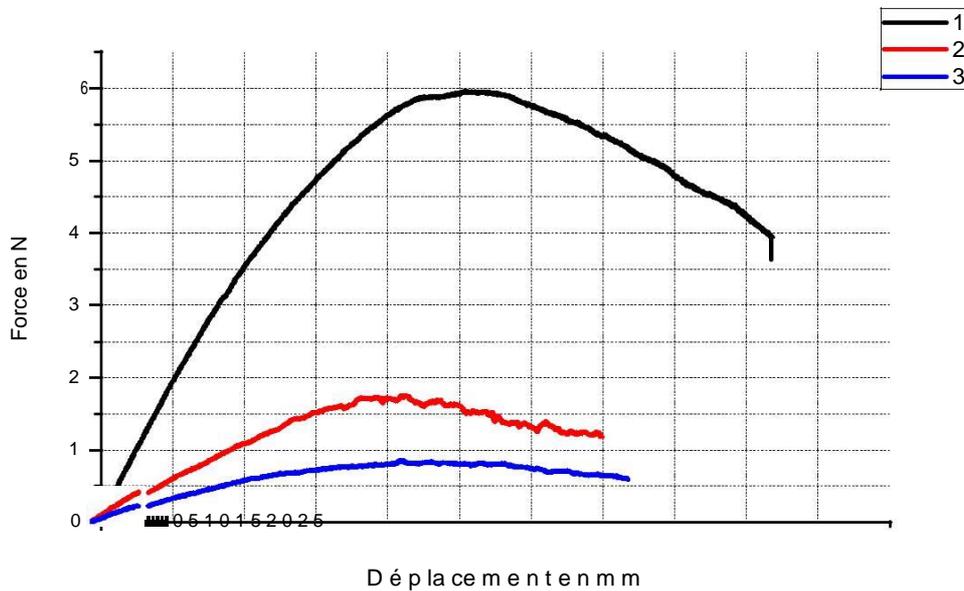


Fig.V.8.Variation de la force en fonction du déplacement.

1 — PEHD

3 — PEHD/PP/PET

2 — PEHD / PP/PET + Bentonite]

Il est observé d'après les résultats des essais de flexion représentés sur la figure.V.8, que la force subit une augmentation pour la géomembrane réelle de type PEHD, sa force maximale est de 5.96 N.

D'une part, la variation de la force, subit une faible augmentation pour les deux autres produits [PEHD / PP/PET + Bentonite] et [PEHD/PP/PET].



Fig.V.9. L'appareil de flexion

L'essai de flexion montre que, la variation de la force de géomembrane réelle est grande, cela montre qu'elle a une grande rigidité, ceci revient au polymère PEHD qui présente une bonne rigidité, les géomembranes de ce type « PEHD » sont les plus rigides et les plus résistantes c'est pourquoi elles sont les plus utilisées.

D'autre part, le produit (1) (qui est un mélange de trois polymères thermoplastiques recyclés (PP-PET/PEHD) plus la bentonite de Maghnia), sa variation de la force maximale.

subit une diminution par rapport aux géomembranes de type PEHD, le mélange 2 présente des résultats minimal.

Les polymères de ce mélange sont thermoplastiques, la présence de la bentonite modifie leur résistance à la flexion, elle améliore cette dernière.



Fig.V.10.Essai de flexion

La variation de la force maximale de flexion du produit (2) qui est un mélange de trois polymères recyclés [PP-PET/PEHD], subit une très faible augmentation par rapport aux géomembranes précédentes, elle a une valeur de 07N.8.

La résistance à la flexion de produit(2), diminue avec l'absence de la bentonite.

V.3. Résultat de test chimique :

Ce test est dû à une manipulation simple qui permet de mesurer la résistance à l'attaque chimique des produits.

Deux solutions sont préparées à partir d'un acide sulfurique « H_2SO_4 » (98%) de concentration donnée : 10% (49ml de solution mère dilué jusqu'à 100ml) et 5% (24.5ml de solution mère dilué jusqu'à 100ml).



Fig.V.11. Préparation des solutions

Les échantillons sont d'abord pesés (pour 6 échantillons), puis ils sont introduits dans des récipients contenant la solution (de 10% ou de 5%), ensuite ils ont laissé pour 4 jours.



Fig.V.12. Préparation des échantillons

Après 4 jours, les échantillons sont élevés puis séchés dans une étuve de séchage pour éliminer la solution.



(1)



(2)

Fig.V.13. Séchage des échantillons.

Ces échantillons sont pesés encore une fois (m_1) pour calculer la perte de la masse :

$$\left(\frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \right)$$

Les valeurs des masses (m_0 et m_1) sont présentées au tableau ci-dessous :

Produit	M_0 (g)		M_1 (g)	
	Solution 10%	Solution 5%	Solution 10%	Solution 5%
Géomembrane en PEHD	1.3445	1.0565	1.3445	1.0565
Produit 1	1.2448	0.7087	1.2448	0.7087
Produit 2	0.4428	0.4272	0.4428	0.4272

Tableau.V.1.les Résultats des masses.

Après 4 jours, les masses de ces échantillons ne changent pas (d'après les résultats présentés dans le tableau), la perte de masse est nulle 0%, les échantillons n'ont pas dégradés, cela montre qu'ils ont une bonne résistance à l'attaque d'acide sulfurique, et les grains de bentonite sont complètement confinés par la matière plastique ce qui permet d'éviter ses interactions avec l'acide sulfurique.

V.4.Résultats de l'infrarouge'' IRTF'' :

La spectroscopie IR-TF peut nous renseigner sur la miscibilité des polymères. Elle permet de caractériser les groupements fonctionnels dans les polymères purs en identifiant leurs bandes d'absorption, et vérifier si leur nombre d'onde a changé une fois qu'ils ont été mélangés. Cette variation est due à des modifications chimiques ou physiques induites par les interactions entre les différents polymères des trois produits.

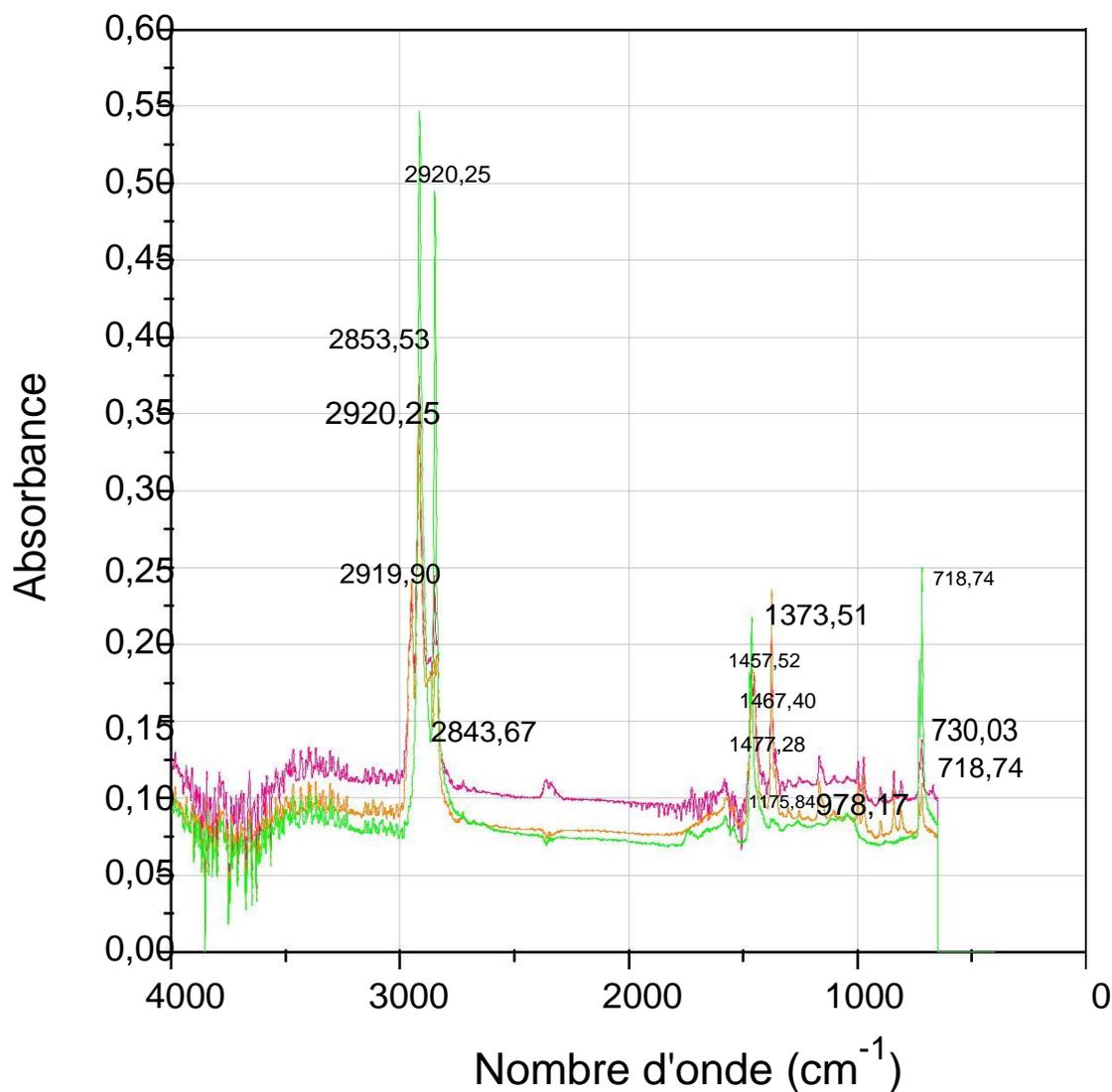


Fig.V.14. Les spectres infrarouges de mélanges (1),(2) [PP/PET/PEHD+Bentonite], [PP/PET/PEHD] et géomembrane réelle.

Mélange (1) [PP-PET/PEHD/Bentonite]

Le spectre infrarouge de mélange (1) [PP-PET/PEHD/Bentonite] montre la présence des bandes d'absorption situées :

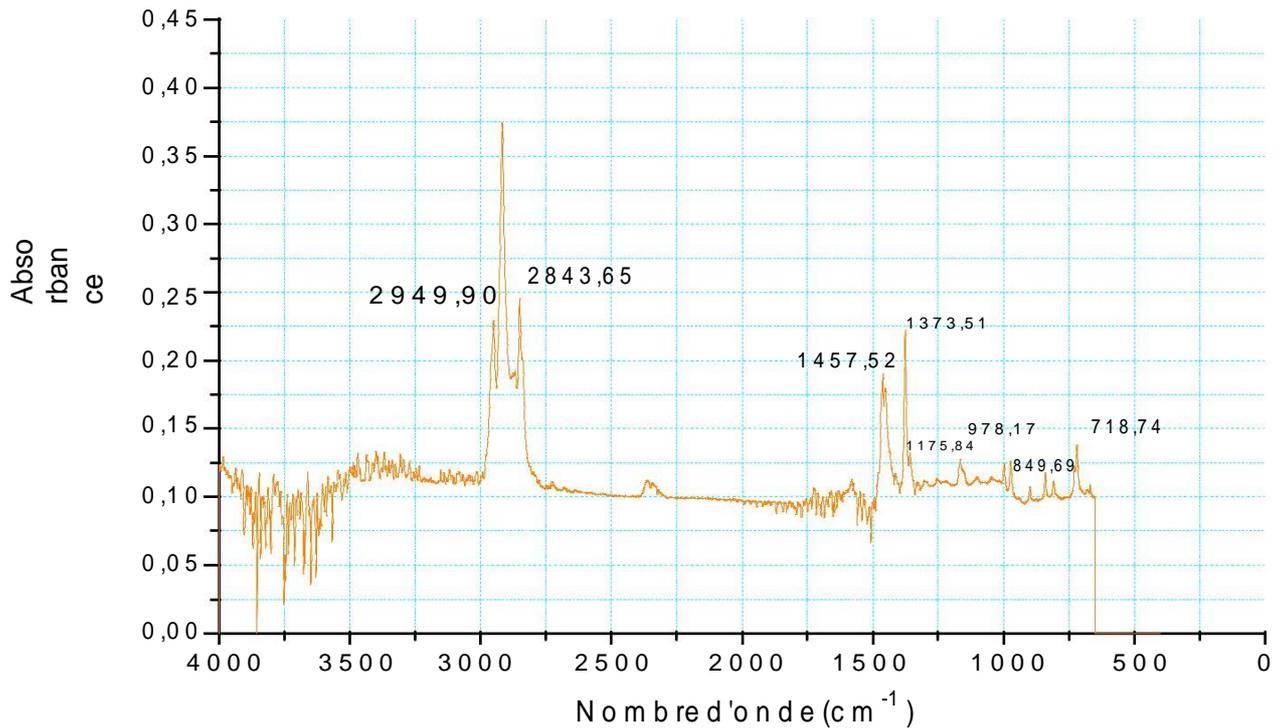


Fig.V.15. Le spectre infrarouge de 1^{er} mélange [PP/PET/PEHD/Bentonite]

Aux environs de 2949.90cm^{-1} et de 2843.65cm^{-1} sont les caractéristiques de la vibration de valence de groupements OH et CH.

- aux environs de 1457.52cm^{-1} et de 1373.51cm^{-1} sont les caractéristiques de la vibration de déformation de deux groupement OH et CH.

Aux environs 1175.84 et de 978.17cm^{-1} sont les caractéristiques de la vibration de valence de la liaison $\text{CH}_2\text{-O-Si}$ de l'argile.

Aux environs 849.69cm^{-1} et de 718.74cm^{-1} sont les caractéristiques de la vibration d'asymétrique de groupement CH et de la liaison de Si-C de l'argile.

Mélange (2) [PP-PET/PEHD]

Le spectre infrarouge de mélange (2) [PP-PET/PEHD] montre la présence des bandes d'absorption situées :

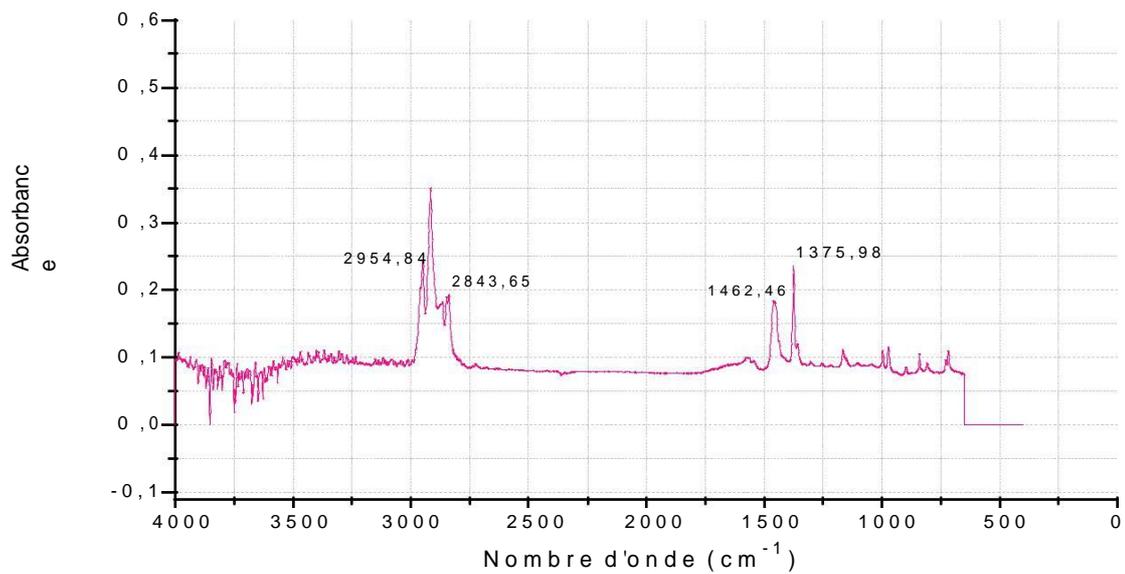


Fig.V.16. Le spectre infrarouge de 2^{ème} mélange [PP/PET/PEHD]

Aux environs de 2954.84cm^{-1} et de 2843.65cm^{-1} sont les caractéristiques de la vibration de valence de groupements OH et CH.

Au environ de 1462.46cm^{-1} et de 1375.98cm^{-1} est la caractéristique de la vibration de déformation de deux groupement OH et CH.

Géomembrane réelle

Le spectre infrarouge de géomembrane réelle de type PEHD montre la présence des bandes d'absorption situées :

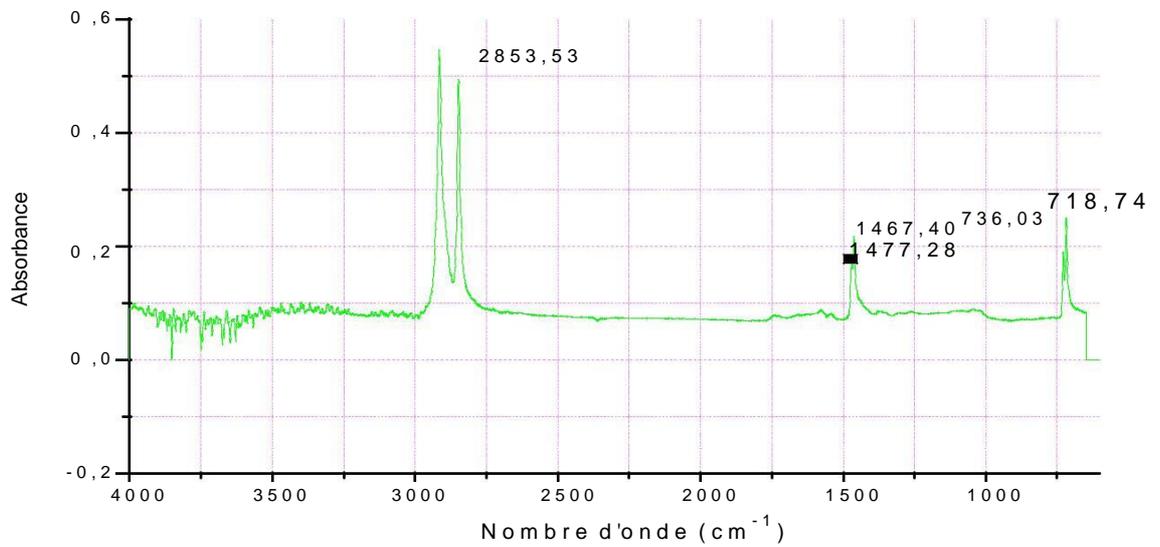


Fig.V.17. Le spectre infrarouge de géomembrane réelle.

Au environ de 2853.53cm^{-1} est les caractéristique de la vibration de valence de groupements CH.

Au environ de 1477.28cm^{-1} et de 1467.40cm^{-1} est la caractéristique de la vibration de déformation de deux groupement OH et CH.

- aux environs de 736.03cm^{-1} et de 718.74cm^{-1} sont les caractéristiques de la vibration asymétrique de groupements CH.

V.5. Résultats de la DSC

Les thermogrammes représentés par les *figures.V.18*, donnent les variations de la température de fusion en fonction de flux de chaleur pour les mélanges : PEHD/PP-PET/Bentonite, PEHD/PP-PET, et une géomembrane commerciale de type PEHD.

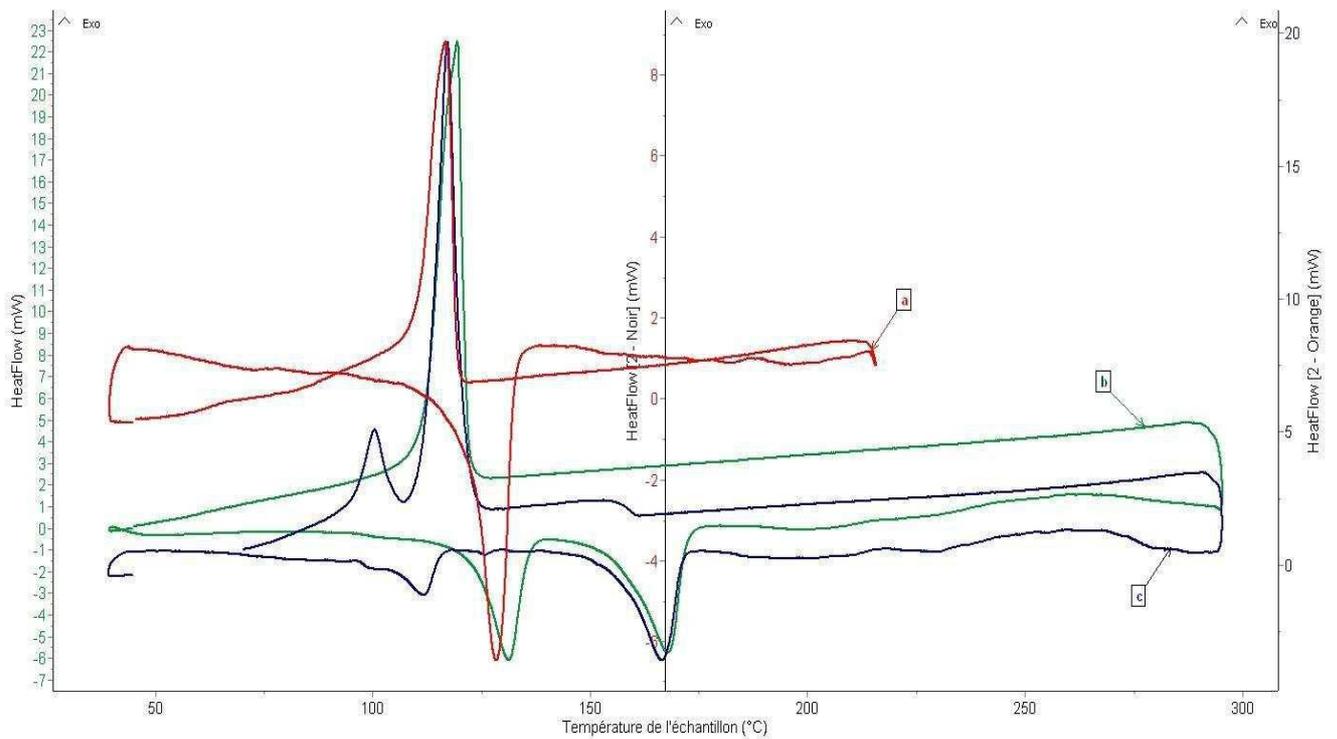


Fig.V.18. Variations de la température de fusion en fonction de flux de chaleur

Mélange [PEHD/PP-PET]

Le thermogramme représenté par la figure V.19, donnant la variation du flux de chaleur en fonction de la température pour le mélange de PEHD/PP-PET.

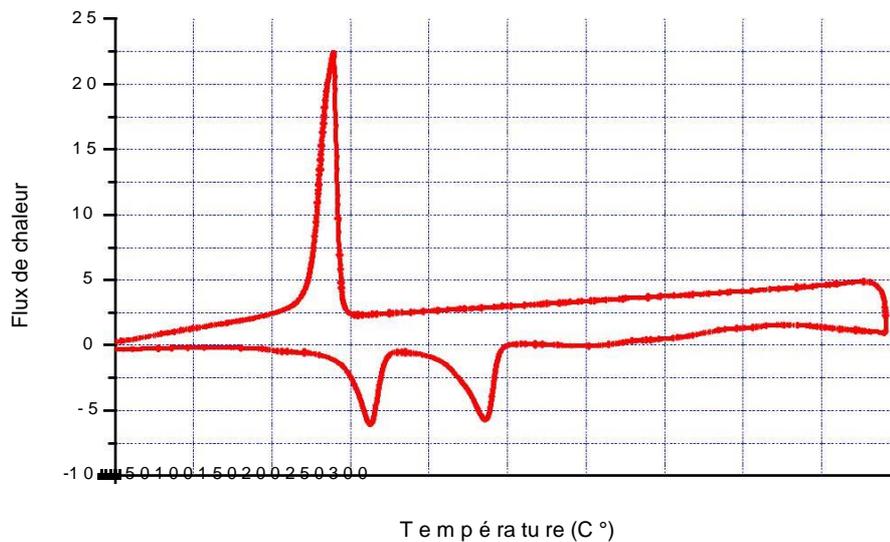


Fig.V.19. Variations de la température de fusion en fonction de flux de chaleur pour le mélange PEHD/PP-PET

Deux pics endothermiques ont été observés aux environs de 130°C et 170°C.

Le 1^{er} pic endothermique (130°C) concerne la fusion des polymères polyoléfiniques (PEHD et PP), cela montre que ces deux polymères sont miscibles.

Le 2^{ème} pic endothermique (168°C) concerne la fusion de polyester « PET » dont la fusion a été décalée vers des températures plus faibles (< 240°C) à cause de son implication dans le mélange.

Au cours de descente (refroidissement) on trouve un seul pic de cristallisation à 120°C dû aux polyoléfiniques.

Mélange [PEHD/PP-PET/Bentonite]

Le thermogramme représenté par la figure V.20, donnant la variation du flux de chaleur en fonction de la température pour le mélange de PEHD/PP-PET plus la bentonite.

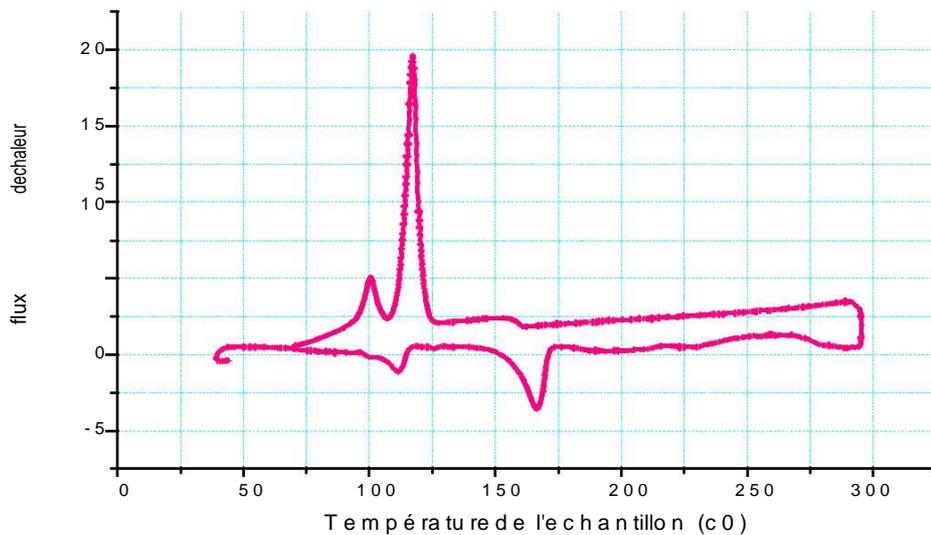


Fig.V.20. Variations de la température de fusion en fonction de flux de chaleur pour le mélange PEHD/PP-PET/Bentonite

Le thermogramme représenté par la figure V.20, donnant la variation du flux de chaleur en fonction de la température pour le mélange de PEHD/PP-PET plus bentonite. Deux pics endothermiques ont été observés aux environs de 114°C° et 170°C°.

Le 1^{er} pic endothermique (114 C°) concerne à la fusion des polymères polyoléfines (PEHD et PP).

Le 2^{ème} pic endothermique (170C°) concerne à la fusion de polyester « PET ».

- L'addition de la bentonite a maintenu la fusion de polyoléfines mais a amélioré celle de PET.
- Il y a une seule cristallisation qui dû aux polyoléfines au environ de 120C°.

Géomembrane réelle

Le thermogramme représenté par la figure V.19, donnant la variation du flux de chaleur en fonction de la température pour le mélange de géomembrane commercial de type PEHD.

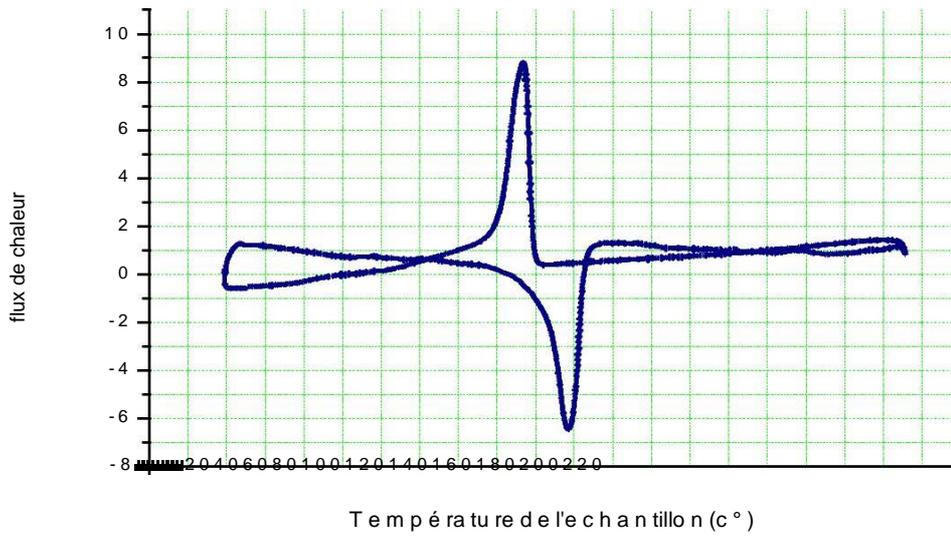


Fig.V.21. Variations de la température de fusion en fonction de flux de chaleur pour la géomembrane réelle

Deux pics ont été observés : l'un endothermique et l'autre exothermique aux environs de 128°C et 120°C.

Le 1^{er} pic endothermique (128°C) concerne la fusion du polymère polyoléfine (PEHD).

Le 2^{ème} pic exothermique (120°C) concerne la cristallisation de PEHD.

Conclusion
CONCLUSION

Conclusion générale

Cette étude est réalisée sur la possibilité de fabrication des membranes géopolymère à base de déchets plastiques qui sont actuellement jetés directement dans les espaces verts, ce qui dégrade l'environnement.

Nous avons réalisés deux formulations de géomembranes. L'une avec des déchets, et l'autre avec des déchets renforcés par la bentonite de provenance de Maghnia.

Une série de caractérisation et des essais physicochimiques et mécaniques permet de comparer ces deux formulations avec une géomembrane commerciale.

Les résultats obtenus permettent de tirer les conclusions suivantes :

1. La présence de la bentonite dans le mélange (PP/PET/PEHD) à modifier et améliorer les résultats de la résistance à la traction, et à la flexion par rapport au mélange (PP/PET/PEHD). C'est-à-dire l'utilisation de la bentonite permet d'améliorer les performances mécaniques de façon comparable avec la géomembrane réelle.
 - Ensuite la différence entre les propriétés mécaniques dans le sens longitudinal et dans le sens transversal montrent que les géomembranes élaborées sont anisotropes ce qui nous oblige à revoir la méthode de malaxage et la méthode d'extrusion afin d'améliorer ces dernières.
2. La stabilité des produits vis-à-vis de l'attaque chimique (Acide sulfurique H_2SO_4) montre que, les grains de la bentonite sont complètement confinés par la matière plastique, ce résultat nous permet de prévoir une possibilité d'augmenter le taux de charge jusqu'à une valeur critique, où il y a des interactions avec l'acide sulfurique.

- Les polyoléfinés (PEHD/PP) et le polyester (PET) présentent une grande inertie chimique vis-à-vis des acides
3. Les résultats de IRTF montrent qu'il n'y pas des perturbations des groupements moléculaires dans le cas de la formulation avec la bentonite, ceci montre qu'il n'y pas d'interactions chimiques avec ces derniers.
 4. Les essais de la DSC montrent que, les polyoléfinés (même nature, presque même structure) PP et PEHD sont miscibles qui a permis une fusion et une cristallisation. Par ailleurs l'introduction de polyester (PET) dans le mélange, a diminué sa température de fusion.
 - L'addition de la bentonite a maintenu la fusion de polyoléfine mais a amélioré celle de PET.

Recommandation

Ce modeste travail n'est qu'une initiation vers un domaine très important dans l'industrie pétrolière et le traitement des eaux, les géomembranes ne sont malheureusement pas étudiées ni valorisées comme les autres spécialités dans les différents domaines que propose l'université.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence la possibilité d'orienter les polymères recyclés vers le domaine de géomembranes qui permet une protection de l'environnement, et une diminution des coûts d'investissements.

A la lumière des résultats obtenus nous proposons la poursuite de cet axe de recherche très intéressant, en se basant sur le taux des charges de la bentonite, sa granulométrie, les méthodes de malaxage avec les polymères recyclés et le mécanisme de l'extrusion.

Chapitre I

[1] Jean-Louis BORDES Ingénieur de l'École Centrale de Paris Expert, Coyne et Bellier.

[2] Définition, mise en œuvre et dimensionnement des géosynthétiques Cahier élaboré par le Comité français des géosynthétiques (CFG) 10 avril 2015 N°5811 LE MONITEUR DES TRAVAUX PUBLICS ET DU BATIMENTS.

[3] Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets. Comité français des géotextiles et géomembranes. asciculeF en préparation.

[4] Geomembranes - Identification and Performance Testing Edited by J.M. Rigo, A.L. Rollin 2004 p 1-3.

[5] Thèse Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE
Spécialité : Sciences de la terre et univers, environnement Arrêté ministériel : 7 août 2006
Présentée par Hajer Bannour.

[6] RECLAMATION Managing Water in the West design no. 13 Embankment Dams
chapter20: Geomembranes, phase 4 (final), US department of the interior Bureau of
Reclamation, March 2014.

[7] DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANES POUR LES BARRAGES
Principes de conception et retour d'expérience. International Commission on Large Dams -
61, avenue Kléber, 75116 Paris – France.

[8] Scheirs, J., Compositional and Failure Analysis of Polymers: A Practical Approach, John
Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2000, 766 pp.

[9] Les bourbiers des forages pétroliers et des unités de production : impact sur
l'environnement et technique de traitement --Abbas Hadj Abbas.

[10] Durabilité des géomembranes en polyéthylène haute densité utilisées dans les
installations de stockage de déchets non dangereux-carlota Pons.

Chapitre II

[11] Mémoire de fin d'étude de soudan Sofiane contribution à l'étude expérimentale d'un polyéthylène à haute densité (PEHD) –effet de la température et de la vitesse de déformation.

[12] Matériaux pour l'ingénieur sous la direction de :A-F. GOURGUES – LORENZO et J-M. HAUDIN.

[13] Thermoplastique Matériaux les nouveaux précis bréal 2004.

[14] Les polymères Coppens Thomas, de Decker Jonathan, Debruycker Vincent, Guissart Céline, Lavendomme Roy, Ozkan Alp, Van Overmeir Laureline, Verhaegen François Service de Sciences des Polymères printemps des sciences, science en vies 2010 p-1.

[15] Les polymères Cours de C. Fond.

[16] Contribution à l'étude expérimentale d'un polyéthylène à haut densité (PEHD)- Effet de la température et la vitesse de déformation - par Sadoun Sofiane mémoire de magister 2007.

[17] ELABORATION DES POLYMERES Jean-Marc HAUDIN CEMEF Cours Matériaux 2005 .

[18] J.-M. HAUDIN élaboration des polymères.

[19] Résistance à l'impact d'un polypropylène recyclé. Cherfa Nassima 2007.

[20] <http://www.psrc.usm.edu/french/pp.htm>. Visité le 27.9.2016

[21] Etude de la détermination du paramètre d'interactio entre deux polymères par voie mécanique ‘‘effet du comptabilisant sur ce paramètre>>.

[22] Les polymères et leur chimie DES de Pharmacie Hospitalière S. Gibaud Laboratoire de pharmacie clinique et biotechnique.

[23] Caractérisation des propriétés diélectriques de matériaux composites à base de polyéthylène téréphtalate recyclé, par Mebarki Fouzia 2012.

[24] <http://www.goodfellow.com/F/Polyethylene-terephthalate.html>. Visité le 27.9.2016

[24] La valorisation du polyéthylène et du polyéthylènetéréphtalate Simon LAMARCQ
Université apolytechnicadin Timisoara promotion 2009/2010.

[25] LE recyclage des plastiques DR ROLAND CAUBERGS dossier sur l'environnement 3
MENS SANA IN TERRE SANA 2001P -5.

Chapitre III

[26] les argiles]. Par S.CAILLERE- S_HENIN- M.RAUTUREAU: Edition SEPTIMA. Paris 1986.

[27] Etude du comportement rhéologique de mélanges argiles polymères. Effets de l'ajout de polymères. Thèse de Doctorat par Adel BENCHABANE.

[28] Etudes du gonflement d'argiles fortement compactées.

Approche microstructurale. Thèse de Doctorat par Nadia SAIYOURI, Daniel Tessier.

[29] BELHALFAOUI Belkacem Fayçal, Etude de l'élimination des métaux lourds en solution aqueuse par une bentonite et une cellulose modifiées, thèse doctorat 2010.

[30] THESE : ETUDE EXPERIMENTALE DES MELANGES SABLE BENTONITE -
Leurs Performances comme Barrières de Confinement dans les CET par
KOULOUGHLI SALIM.

[31] S. Caillere, S. Henin. Minéralogie des argiles, Masson, Paris, 1963.

[32] Spécification des produits minéraux pour les fluides de forage -1989.edition technip-
paris.

La bibliographie

- [33] N.BOUGDAH, Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite, mémoire de magisters Université 20 Août 55, Skikda 2007, pp 30-32.
- [34] O. BOURAS, propriétés adsorbants d'argile pontées rganophiles : synthèse et caractérisation, thèse de doctorat, université de imoger,L 2003, pp 23- 24.
- [35] F.BOUAZZA, Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées, mémoire de magistère, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2012, pp 9-11.
- [36] Adsorption du phénol sur la bentonite de Maghnia KANOURI Rima et LABIDE Abdelhamid 2012/2013.
- [37] N.BOUGDAH, Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite, mémoire de magisters Université 20 Août 55, Skikda2007, pp 30-32.
- [38] L. YUCEF, S.ACHOUR. Etude de l'élimination des fluorures des eux de boisson par adsorption sur bentonite, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N° 03, Université de Biskra, 2004.