

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir El Ibrahim
Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière



جامعة محمد البشير الإبراهيمي «برج بوعريش»

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم علوم المادة

Mémoire de fin d'étude

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MASTER

Filière : Chimie

Option : Chimie des matériaux

THÈME

Étude comparative de géo- membranes industrielles

Préparé par : BENSGHIR ILHEM

MIHOUB CHAIMA

Président : MEKHALIF Taher

Encadreur : Dr. HAMMA Amel

Co-encadreur : Dr. BEZZA Abdeslam

Examineur: TABABOUCHET Yacine

MCB

Université BBA

ALGM BBA

MAA

Année Universitaire : 2019-2020

DEDICACE

Au nom d'Allah, le clément et le miséricordieux.

Je dédie ce travail

*A ma mère Mebarka source de vie, d'amour et
d'affection qui m'a soutenu et encouragé ces années
d'étude.*

*A mon père Ben Nacer pour son soutien, son
affection Et la confiance qui m'a accordé*

A tous les membres de ma famille

A ma chère cousine ma sœur et ma copine Ikram

A tous mes amis

Et tous ceux qui m'aiment

A ma binôme Bensghir Athem

Mihoub Chaima

Au nom d'Allah, le clément et le miséricordieux.

Je dédie ce travail

*A ma mère Dalila pour son amour, ses
encouragements et ses sacrifices*

*A mon père Abd elmadjid pour son soutien,
son affection Et la confiance qui m'a accordé*

A tous les membres de ma famille

A ma chère copine Bouchra

A tous mes amis

Et tous ceux qui m'aiment

A ma binôme Mihoub Chaima

Benseghir Athem

Nos vifs remerciements à Mme **HAMMA Amel**, pour son aide, sa patience et ses encouragements qu'elle n'a cessé de nous communiquer.

Nous tenons particulièrement à remercier :

Tous les enseignants de la Faculté des Sciences et de la Technologie en particulier
Ceux qui ont contribué à notre formation Master Chimie des Matériaux.

Nous remercions vont au PDG de la société Géo-Membrane, Mr **MECHRI BILAL**, pour nous avoir acceptés de travailler sur ses produits et aussi de nous avoir permis d'accéder au laboratoire de la société. Nos remerciements pour vos encouragements et votre soutien aux étudiants et à la recherche en générale. Sans votre aide, monsieur le PDG, notre travail ne verra pas le jour

Au personnel du laboratoire de la société Géo-membrane, Mr **KHICHANE Noureddine**, qui nous a aidés, particulièrement, pour effectuer la caractérisation de nos échantillons. Et bien sûr, pour leur sympathie et leur gentillesse inconditionnelle. C'était vraiment un séjour inoubliable au sein de ce laboratoire.

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Sommaire

Dédicaces	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des schémas	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES GMS	
I-1 INTRODUCTION	02
I-2 HISTORIQUE SUR LA APPLICATION DES GMS	03
I-3 GENERALITE SUR LES GEO-MEMBRANES	05
I-4 LES CONSTITUANTS DES GEO-MEMBRANES	06
I-4-1 Matrice	06
I-4-2 Additifs	07
I-5 TYPES DES GEO-MEMBRANES	08
I-5-1 Géo-membrane bitumineuse	08
I-5-2 Géo-membrane PVC	09
I-5-3 Géo-membrane PEHD	11
I-5-4 Géo-membrane CSM	12
I-5-5 Géo-membrane f-PP	13
I-6 PRINCIPALES PROPRIETES DES GEO-MEMBRANES	14
I-6-1 Densité	14
I-6-2 Épaisseur	15
I-6-3 Indice de fluidité	16
I-6-4 Flexibilité	16
I-6-5 Le coefficient d'expansion thermique	16
I-6-6 Résistance à traction	16
I-6-7 Résistance à la perforation	17
I-6-8 Résistance à la déchirure au niveau des points de soudage et des plis.	17
I-6-9 Les propriétés de friction des géo-membranes	

1-6-10 la perméabilité des géo-membranes	17
I-7 FABRICATION DES GEO-MEMBRANES	17
1-7-1 Extrusion	18
1-7-2 Calandrage	18
CHAPITRE II : LES GEO-MEMBRANE & THERMOPLASTIQUE OLEFINES	19
II-1 LES GEO-MEMBRANES POLYETHYLENE	
II-1-1les polyéthylènes	21
II-1-1-1 <i>La polymérisation De Polyéthylène</i>	21
II-1-1-2 <i>Structure Cristalline Du Polyéthylène</i>	22
II-1-1-3 <i>Types Du Polyéthylène</i>	22
II-1-1-3-2 <i>Le Polyéthylène Haute Densité(PEHD)</i>	22
II-1-1-3-1 <i>Le polyéthylène Moyen Densité PEMD</i>	23
II-1-1-3-3 <i>Le polyéthylène a basse densité PEBD</i>	25
II-1-1-3-4 <i>Le Polyéthylène Basse Densité Linéaire (PEBDL)</i>	25
II-1-2 Noir De Carbone	27
II-2 LES THERMOPLASTIQUES OLEFINES	29
II-2-1 Oxyde de Titane	30
	32
CHAPITRE III : MATERIAUX UTILISES ET TECHNIQUES D'ANALYSES	
III-1 MATERIAUX UTILISES	34
III-1-1 Les Géo-membranes	34
III-2 ROCEDES DELABORATION DE LA GEO-MEMBRANE	35
III-3TECHNIQUE DE CARACTERISATION	36
III-3-1 Essai de traction	36
III-3-2 Essais de la dureté shore	39
III-3-3 Essais de Poinçonnement	39
III-3-4 Densité	40
III-3-5Essais de mesure MFI	41
CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION	41
IV-1 PROPRIETES MECANIQUES	43

IV-1-1 Allure des courbes de traction	52
IV-1-2 Essais de poinçonnement	53
IV-1-3 La dureté shore D	53
IV-1-4 Densité	54
IV-2 PROPRIETES RHEOLOGIQUES	56
CONCLUSION GENERALE	57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	62
RESUME	

LISTE DES FIGURES

Figure.I.1 : Membrane d'étanchéité bitumineuses bicouche pour toiture.	06
Figure.I.2 : Illustration schématique de la morphologie du noir de carbone.	08
Figure.I.3 : Géo-membrane polychlorure de vinyle.	11
Figure.I.4 : Géo-membrane polyéthylène haute densité.	12
Figure.I.5 : Géo-membrane en polypropylène flexible	14
Figure.I.6 : Densité de diverses géo-membrane.	15
Figure.I.7 : Résistance au choc à la déchirure de diverses géo-membranes.	15
Figure.I.8 : Schéma de la méthode de fabrication de la géo-membrane à film soufflé Reproduit avec la permission du NAUE.	19
Figure.I.9 : Schéma de principe de calandrage.	20
Figure.II.1 : La structure orthorhombique des polyéthylènes	22
Figure.II.2 : La Structure Cristalline De PEHD.	23
Figure.II.3 : La Structure branchée Du PEBD	26
Figure. II.4 : Différentes Structures Du Noir De Carbone.	29
Figure. III.1 :Éprouvette De Traction Mécanique.	36
Figure.III.2 : La Machine De Traction Mécanique.	37
Figure.III.3 : Instrument De Mesure De La Dureté Shore D.	39
Figure. III.4 . Eprouvtes Pour L'essai De Poinçonnement.	40
Figure.III.5 :Machine De Traction Mécanique Avec Le Dispositif Poinçonnement	40
Figure.III.6 : Vue D'ensemble De L'appareil De Mesure de l'IF.	41
Figure.IV.1 : Allures des courbes de traction des formulations de GMs en a)- PE, b)-TPO	45
Figure.IV.2 : Evolution de la: a - contrainte et b - allongement a la rupture de la géo-membrane PE et TPO découpées dans le sens transversal.	47
Figure.IV.3 : Évolution de la: a- contrainte et b- allongement à la rupture de la géo-membrane PE et TPO découpée dans le sens longitudinal.	48
Figure. IV.4 : Évolution de a- l'allongement au seuil b-contrainte au seuil de la géo-membrane PE et TPO dans le sens transversal.	50
Figure. IV.5 : Évolution de : c- allongement et d- contrainte au seuil d'écoulement de PEHD et TPO dans le sens longitudinal	51
Figure. IV.6 : évolution d'une PIN des GMs PEHD en différentes	52

formulations et la TPO.

LISTE DES SCHÉMAS

Schéma II.1 : réaction générale de polymérisation du PE

20

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 : les propriétés de PEHD	23
Tableau II-2 : les propriétés de PEBD	26
Tableaux II .3 : les propriétés mécaniques et les propriétés thermiques de PEBDL	28
Tableau.III.1 : Propriétés des polyéthylènes utilisés dans l'étude telles quelles sont Données par les fiches techniques.	34
Tableau.III.2 : Propriétés des masters batch utilisés dans l'étude telles quelles sont Données par les fiches techniques.	35
Tableau IV-1 : l'évolution du Module d'Young en traction de la géo-membrane en PEHD et TPO.	46
Tableau IV-2 : comparaison entre la contrainte et l'allongement à la rupture	49
Tableau IV-3 : comparaison entre la contrainte et l'allongement au seuil dans le sens transversal et longitudinal le sens transversal et longitudinal.	51
Tableau IV-4 : Valeurs de la dureté shore D enregistré sur les GMs.	53
Tableau IV-5 : Les Valeurs De La Densité.	54
Tableau IV-6 : Variation De l'indice De Fluidité Des Géo-membranes étudiées.	54

LISTE DES ABREVIATIONS

ALGM-BBA : Algérienne Géo-membrane MECHERI de BORDJ BOU ARRERIDJ

CSM: Polyéthylène Chloro-Sulfoné

DEG : Dispositif d'Etanchéité par Géo-synthétique

EPDM : Ethylène Propylène Diène Monomère

PEBDL : Polyéthylène Basse Densité Linéaire

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

PEBD : Polyéthylène Basse Densité

PEMD : Polyéthylène Moyenne Densité

PP-F : Polypropylène Flexible

PVC-P : Polychlorure de Vinyle Plastifié

TPO : Thermoplastique Polyoléfine

GMs: Les Géo-membranes

PVC: Polychlorure de Vinyle

EPDM : Polymère Ethylène-Propylène-Diène

UV: Ultra-Violet

HPA: Hindered Phenolic Antioxydant

HPPS: Hindered Phosphate Processing Stabilizer

SBS: Styrène Butadiène Styrène

A-PP : Polypropylène a Tactique

HCl : Chlorure d'Hydrogène

CSM-R : Polyéthylène Chloro-Sulfoné Renforcée

PP : Polypropylène

IF : Indice de Fluidité

PE : Polyéthylène

ICI: Imperial Chemical Industries

AO: Antioxydant

NBR: Nitrile Butadiene Rubber

NR: Naturel Rubber

CIIR : Caoutchouc Butyle Chloré

TFC : Température de Déflexion Thermique

MPa: Méga Pascal

MD: Machine Direction

CMD: Cross Machine Direction

Tr: Température de Fusion

T_g: Transition Vitreuse

HAP: Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, les géo-membranes jouent un rôle essentiel dans la protection de l'environnement pour de multiples raisons : elles réduisent les pertes d'eau ; elles évitent la pollution des sols et des nappes phréatiques en contenant des déchets et liquides toxiques ; et elles sont installées avec un minimum de transport de matériaux. Par conséquent, on peut prévoir que l'utilisation des géo-membranes va continuer de croître [1].

La versatilité des géo-membranes (ou géo-synthétiques polymériques) disponibles sur le marché des matériaux barrières) peut rendre difficile le choix de la géo-membrane le plus approprié est de trouver une combinaison de propriétés de performance pour une application donnée. Chaque type de géo-membrane a des caractéristiques différentes qui affectent son installation, sa durabilité, sa durée de vie et performance globale. Il est donc nécessaire de faire correspondre les critères de performance du projet avec la bonne combinaison de propriétés d'une géo-membrane particulière [2].

Dans notre travail on s'intéresse à l'étude des propriétés de différentes géo-membranes et à la comparaison de leur performance en vue d'utilisation dans les CET. Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les géo-membrane. Dans le **deuxième chapitre**, on va donner un état d'art sur les géo-membranes PEHD qui sera l'objet de notre travail. **Le 3ème chapitre** est consacré à la description des matériaux utilisés dans notre étude pratique et les principales techniques caractérisant les géo-membranes étudiées.

Enfin, l'ensemble des résultats est leur discussion sera présenté dans le **4^{ème} chapitre**. On termine notre mémoire par une conclusion général.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES GÉO-MEMBRANES

I-1-INTRODUCTION

Confinement, stockage et déplacement des liquides, des solides et des gaz à l'intérieur des enceintes de géo-membrane représentent un défi distinct et unique pour la communauté technique et scientifique. Selon le type de matériaux retenus, il faut se préoccuper de la santé, de l'environnement, du vieillissement, de la durabilité et de la sécurité contre les incertitudes ; tout cela dans le cadre d'un rapport coûts-avantages approprié pour la situation être pris en considération. Il est clair que c'est une tâche exigeante, mais qui est nécessaire et utile. Les produits à contenir, stocker et parfois transporter dans des matériaux appropriés peuvent être sous forme [2].

Liquides : eau potable, eau industrielle, eau d'arrêt sûr, eaux usées industrielles, eaux usées municipales, produits chimiques de procédés liquides, produits chimiques de déchets liquides, lixiviats de déchets solides, etc [2].

Solides : déchets radioactifs, déchets dangereux, déchets industriels, déchets municipaux, déchets hospitaliers, cendres d'incinérateur, cendres de centrales électriques, déchets miniers, minerais de lixiviation en tas, démolition de bâtiments, étangs solaires, etc.

Gaz : gaz de produits industriels, gaz de déchets industriels, gaz de décharge, gaz de radon, gaz de déchets radioactifs [2].

L'un des défis relevés dans le stockage des produits est l'utilisation de matériaux appelé géo-membrane.

Mais qu'est-ce qu'une géo-membrane et à quoi sert-elle ?

Les géo-membranes sont des produits utilisés en génie civil dont la seule fonction est d'assurer l'étanchéité des surfaces. Elles sont manufacturées, avec une épaisseur minimale de 1 mm et conditionnées en rouleau de largeur supérieure à 1,5 m [3].

Les géo-membranes (GMs) constituent un groupe de produits géo-synthétiques bien distingué de par leur fonction. L'étanchéité des terrains définit parfaitement le rôle des GMs dans la pratique. Étanchéité des sols regroupe, en fait, un ensemble de sujets techniques ayant trait à ce contexte. Perméabilité (malgré antonyme), drainage,

récupération, collecte, isolation, anticontamination, scellement et stockage sont des exemples de sujets étroitement liés à l'utilisation des GMs. Les bienfaits de ces matériaux touchent des domaines aussi divers que bâtiments, travaux publics, hydraulique, environnement et agriculture [4].

En termes simples, une GMs est mise en place pour empêcher carrément le mouvement d'un liquide ou d'un gaz dans le sol. De même que la définition de la fonction, le principe de mise en œuvre est élémentaire : creuser dans le sol, mettre la GMs à l'endroit voulu, recouvrir pour protéger le matériau et assurer sa pérennité [4].

Les propriétés des géo membranes polymériques sont principalement déterminées par la structure du polymère (architecture des chaînes), poids moléculaire entre autre la longueur des chaînes et la cristallinité (densité d'emballage des chaînes).

Les géo membranes communes peuvent être classées en deux grandes catégories selon s'il s'agit de thermoplastiques (c.-à-d. qu'ils peuvent être refondus) ou de thermodurcissables (c.-à-d. réticulés ou et ne peut donc pas être refondue sans dégradation). Lors de la sélection d'une géo-membrane pour une application particulière, les aspects suivants sont nécessaires :

- le choix du polymère.
- le type de renfort du tissu.
- couleur de la couche supérieure (par exemple : blanc pour maintenir des températures plus basses pour les applications exposées au soleil).
- épaisseur

Les premières grandes applications des GMs reviennent aux années soixante du siècle passé. Leurs utilisations ont particulièrement convenues pour servir la protection de l'environnement. En Algérie, ces matériaux géo-synthétiques sont si peu connus par les maîtres d'ouvrages, et encore moins par les nouveaux diplômés des universités [4].

I-2 HISTORIQUE SUR L'APPARITION DES GMs

L'histoire ancienne mentionne souvent le fardeau d'acheminer l'eau potable des ruisseaux et des puits vers les villages et les villes pour utilisation et consommation. Les premières tentatives grossières en Egypte et les terres voisines ont été apportées dans une superbe forme d'art par les Romains, dont les aqueducs représentent les exploits herculéens encore émerveillés aujourd'hui. Leur utilisation de divers pavés en pierre

les systèmes de contrôle des fuites, bien qu'ils soient sans aucun doute gênants et difficiles à maintenir, ont réussi leur mise en œuvre [5].

Cependant, ce n'est qu'avec l'avènement des matériaux fabriqués par l'homme que les choix ont été si nombreux et adaptés à une substance particulière contenue, entreposée ou transportée. La liste suivante [5]. De Kays (1987), donne une idée des différents types de systèmes de revêtement disponibles pour un concepteur ou propriétaire.

- Acier
- Béton
- Ciment de sol
- Gunité
- Additifs de traitement hydrique
- Béton bitumineux
- Argile compactée
- Sol modifié par la bentonite
- Panneaux et rouleaux bitumineux
- Polymères thermodurcissable
- Polymères thermoplastiques amorphes et semi- cristallin

Dans les trois dernières catégories de revêtement vient la zone de géo-membranes. Aussi les géo-membranes sont des feuilles polymères ou bitumineuses qui sont fabriqués en usine en une seule ou en multicouches [5].

Malgré la découverte du PVC (Chlorure de Polyvinyle) à au moins deux occasions au cours du XIXe siècle, d'abord en **1838** par Henri Victor Regnault et en **1872** par Eugen Baumann [6], ce n'est qu'en **1930** que les premières feuilles de géo-membranes ont vu le jour et ont fait l'usage de revêtement de piscine.

Une foule d'activités dans le monde entier a suivi depuis ces années, en utilisant une large gamme de matériaux polymères. Des canaux d'installation maritime toujours en PVC réalisé au Canada, Russie, Taiwan et en Europe tout au long des années **1960-1970**. Du polyéthylène chloro-sulfoné a été développé en Allemagne de l'Ouest et se propage à toute l'Europe, l'Afrique l'Australie et l'Amérique du Nord pour être utiliser dans les géo-membranes [5].

En **1972**, la première géo-membrane polyéthylène haute densité (PEHD) fut utilisée. Il s'agissait d'un bassin en Allemagne, pays où ces géo-membranes ont été développées. Grâce à leur excellente résistance chimique et leur excellente durabilité,

les géo-membranes PEHD sont rapidement devenues les géo-membranes les plus utilisées dans le monde entier pour les installations de stockage de déchets [7].

L'utilisation massive de géo-membranes PEHD dans les installations de stockage de déchets a entraîné des innovations. Ainsi, en **1988**, on a assisté à l'arrivée sur le marché des géo-membranes polyéthylène basse densité linéaire (**PEBDL**), plus extensibles que les géo-membranes PEHD, et qui étaient destinées à être utilisées en couverture d'installations de stockage de déchets où de grandes déformations sont prévisibles du fait de la décomposition et compression des déchets.

Autre innovation, les géo-membranes PEHD à surface rugueuse sont apparues en **1988** aux États-Unis pour améliorer la stabilité des systèmes d'étanchéité installés sur pentes, qui était jusqu'alors limitée par le faible coefficient de frottement des géo-membranes PEHD lisses [7].

Depuis les années **1980** et **1990**, des règlements imposent l'utilisation de géo-membranes pour l'étanchéité des installations de stockage de déchets dans de nombreux pays. De plus, de nombreux règlements imposent l'emploi d'étanchéités composites. Ces règlements ont entraîné, dans les années 1980, le développement des géo-synthétiques benthoniques, souvent associés aux géo-membranes pour former des étanchéités composites [7].

I-3 GÉNÉRALITÉS SUR LES GÉO-MEMBRANES

Les géo -membranes font l'objet de définitions normalisées, précisées dans la norme NFP84- 500 [8].

A travers cette norme, on définit les géo-membranes comme étant :

- _ Des produits minces donc sont exclus les produits étanches constitués de mortier ou de mastics bitumineux d'épaisseurs centimétriques ou décimétriques,
- _ Des membranes dont l'épaisseur fonctionnelle est supérieure ou égale à 1 mm, Dans ce cas sont exclus les géo-films dont l'épaisseur fonctionnelle est inférieure à 1 mm.
- _ Des produits souples (sont donc exclus une couche de mortier de ciment ou une tôle métallique).
- _ Des produits présentant une continuité entre eux par des assemblages étanches et ayant une bonne résistance (sont donc exclus tous les produits ne pouvant être assemblés thermiquement ou chimiquement) [8].

En résumé, une géo-membrane est un produit souple d'épaisseur supérieure ou égale à 1 mm, thermiquement assemblable assurant une étanchéifiassions d'une surface.

I-4LES CONSTITUANTS DES GÉO-MEMBRANES :

I-4-1- La Matrice

La matrice est l'élément majoritaire dans une géo-membrane qui lie et maintient les charges additionnées. Elle répartie les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure la protection chimique des charges [9].

Les matrices qui sont utilisées dans les géo-membranes peuvent être soit bitumineuses ou polymériques.

I-4-1-1- Bitumineuse

Dans ce premier cas on utilise des bitumes oxydés ou des « bitumes polymères » (mélange homogène de bitume et de polymère). Le produit final résulte de l'enduction-imprégnation d'un géotextile (produit textile synthétique sous forme de nappe perméable (**figure I.1**)) par du bitume. De plus, une armature (fibre synthétique de renforcement) apporte la résistance mécanique nécessaire [3].

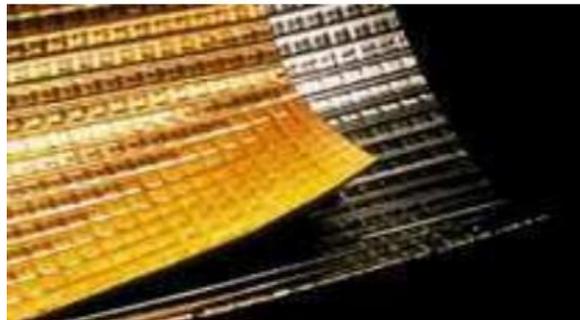


Fig.I.1. Membrane d'étanchéité bitumineuses bicouche pour toiture [13].

I-4-1-2-Polymériques

Deux grandes familles de polymères sont très utilisées industriellement : les thermoplastiques (c.-à-d. qu'ils peuvent être refondus) ou les thermodurcissables (c.-à-d. réticulés et ne peuvent être refondue sans dégradation). On y trouve également les élastomères ou des alliages élastomères-thermoplastiques qu'on peut adhérer à la deuxième classe.

Les résines thermoplastiques et élastomères sont les plus utilisées dans les secteurs des géo synthétiques. En effet, d'un côté les polyéthylènes, en particulier, moyen densité (PEMD) et basse densité linéaire (PEBDL) ainsi que le polypropylène flexible (PP-F) et le polychlorure de vinyle (PVC) sont parmi les polyoléfines les plus perçus dans ce secteur. D'un autre côté, le principal polymère élastomère utilisé comme résine de base pour la fabrication des géo-membranes on y trouve le ter polymère éthylène-propylène-diène(EPDM). Les alliages élastomères thermoplastiques, très peu utilisés, sont principalement des alliages à base de PVC [3].

Les propriétés des géo-membranes polymériques sont principalement déterminées par la structure du polymère (architecture des chaînes), poids moléculaire (i.e. la longueur des chaînes) et leur cristallinité (densité d'emballage des chaînes) qui constitue l'une des propriétés importantes de tous les polymères [2].

I-4-2- Les Additifs

En effet, une géo-membrane n'est pas constituée seulement d'une matrice. Elle contient également des adjuvants utilisés pour diverses raisons. On cite :

I-4-2-1- Les Pigments

Les pigments sont utilisés dans les géo-membranes pour apporter un aspect coloré permettant ainsi de contrôler la température de surface de la géo-membrane, mais surtout, ils agissent comme stabilisateurs UV. Généralement les géo-membranes sont soit noires, soit beiges, soit de nuance grise. Le noir de carbone et le dioxyde de titane sont les deux principaux pigments utilisés dans les géo-membranes. Ils permettent d'offrir une excellente protection UV. D'un côté, D'autre part, le Dioxyde de titane, reflète presque tous les rayonnements UV. Grâce à l'utilisation de ces pigments conjointement à des stabilisants, les géo-membranes peuvent être exposées pendant des années avec une dégradation minimale aux UV [2].

I-4-2-2- Le Noir de carbone

Le noir de carbone est un écran UV. Il permet d'absorber la majeure partie du rayonnement UV frappant la géo-membrane et le transforme en chaleur [2].

Cependant, l'efficacité du noir de carbone est variable selon la taille de particules (**figure I.2**) et leur dispersion à l'intérieur de la matrice polymérique [2].

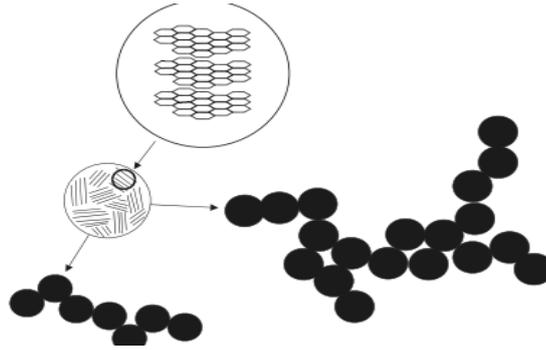


Fig. I.2. Illustration schématique de la morphologie du noir de carbone [24].

1-4-2-3-Stabilisants

Comme les géo-synthétiques sont fabriqués à haute température (200 à 220 °C), les antioxydants et stabilisants sont aussi ajoutés aux matériaux polymériques pour inhiber l'oxydation pendant leur fabrication. Ils sont également nécessaires pour prolonger la période d'induction pendant la période de service de ces matériaux. Par conséquent, les fabricants utilisent généralement une combinaison de plusieurs antioxydants et stabilisants pour procurer à la géo-membranes une meilleure stabilité [2].

Pour les géo-membranes poly-oléfiniques, le mélange de stabilisation peut comprendre au moins trois antioxydants et stabilisants. Il existe une panoplie, on cite à titre d'exemple les familles de : [2]

- Antioxydant phénolique à encombrement stérique (**HPA**).
- Stabilisant de processus phosphite à encombrement stérique (**HPPS**).
- Stabilisant à base d'amine à encombrement stérique à haut poids moléculaires.
- Stabilisant à base d'amine à encombrement stérique à faible poids moléculaire.

I-5-TYPES DES GÉO-MEMBRANES

I-5-1- Géo-membrane Bitumineuse

Les géo-membranes bitumineuses sont des produits multi composants, associant un liant bitumineux étanche, un renfort dénommé armature ainsi qu'un traitement des faces du produit fini (sablage, film, géotextile,...) [14].

Le bitume est un résidu goudronneux obtenu par distillation du pétrole brut et bien connu pour son utilisation pour l'imperméabilisation des routes par pavage. C'est un hydrocarbure épais et très visqueux. Divers produits de bitume moderne ont été

développés. Ils sont caractérisés par leur faible viscosité et meilleure souplesse par rapport au produit traditionnel ce qui leur offre un éventail d'utilisation comme membrane souples [2].

Pour la confection des géo-membranes on y trouve les [8]:

- _ Bitumes oxydés ou "soufflés" obtenus par oxydation en raffinerie.
- _ Bitumes modifiés par ajout de polymères (bitumes polymères).

Pour ces derniers, les principaux polymères utilisés sont les élastomères thermoplastiques comme le Styrène Butadiène-Styrène (**SBS**) ou des plastomères comme le polypropylène a tactique (A-PP). Les géo-membranes bitumineuses sont armées par des tissus en verre ou des mats de polyester [8].

Ces géo-membranes armées ont une importante épaisseur mais résistante. Elles sont faciles à souder à haute température (au chalumeau). Et elles sont adaptées aux enrobages protectifs [8].

Parmi les problèmes qui peuvent survenir avec les doublures de bitume pulvérisées sur place, mentionnons le craquage temps froid, éruption/pénétration des mauvaises herbes et ouverture de brèches. Souvent, un géotextile est posé sur le sol avant la pulvérisation ou autrement le bitume peut ne pas bien coller à la plate-forme. Il est important que le substrat géotextile soit ancré en place à l'aide de piquets géotextiles, sinon la section pulvérisée peut être emportée, en particulier dans les applications de revêtement de canal (Swihart et al. 1994) [2].

I-5-2-Géo-membrane en PVC

Les géo-membranes en PVC sont fabriquées à partir de mélanges de PVC rigide (comme ceux utilisés dans les tuyaux en PVC plastifié). La résine PVC doit être mélangée aussi avec des plastifiants pour améliorer sa flexibilité dans les géo-membranes. Ces plastifiants rendent le PVC souple afin qu'il puisse être laminé, fabriqué et utilisé comme revêtement des matériaux dans des installations complexes. Les plastifiants sont utilisés dans des quantités allant jusqu'à 40% des géo-membranes flexibles en PVC (**figure I.3**) [2].

Il y a quatre régions clé qui déterminent la performance de géo-membrane PVC [2]:

- _ Leur formulation.
- _ Leur épaisseur.

- _ Leur renforcement.
- _ Le procédé de fabrication (calandrage ou extrusion).

Ce type de géo-membrane présente une bonne résistance thermique et chimique. Elles sont flexible assez souple ce qui améliore aussi leur ténacité même à basse température et leur permet d'avoir une résistances aux chocs. Elles existent avec un large choix de couleur et sont soudable par thermo-fusion [8].

Cependant, les revêtements en PVC non stabilisés ne conviennent généralement pas aux applications extérieures dont l'exposition aux rayonnements UV est prolongée. Pour de telles applications, la durée de vie prévue ne dépasse pas les 10 ans dépendamment des facteurs climatiques et chimiques spécifiques, à moins d'être spécialement stabilisé ce qui augmente leur coût [11] et en conséquent, réduit leur performance à haute et à basse températures [13].

Les géo-membranes PVC sont utilisées dans des applications de génie civil. Elles ont servi à l'imperméabilisation des plates-formes, des pentes des routes et des voies ferrées, etc. on les trouve également en construction dans l'étanchéifiassions des toitures, des murs, tunnels et structures souterraines, et dans les mines.

Dans les travaux hydrauliques, elles sont utilisées pour imperméabiliser les rivières et les canaux, les lacs artificiels, les réservoirs et les étangs. En plus des applications de génie civil et d'hydraulique, elles avaient envahi le domaine d'aquaculture pour la construction de bassins.

Cependant, de plus en plus de scientifiques et d'associations environnementales démontrent les nombreuses nuisances du PVC sur l'environnement et sur la santé des êtres vivants. Le potentiel cancérigène du chlorure de vinyle est reconnu chez l'homme depuis le milieu des années 70. De nombreuses études de cas et enquêtes épidémiologiques ont permis d'établir avec certitude son caractère cancérigène. De nombreux essais en laboratoire ont malheureusement confirmé ce potentiel cancérigène du chlorure de vinyle chez des cobayes exposés par inhalation ou par voie orale. Le danger cancérigène du PVC a donc été confirmé avec certitude tant chez l'homme que chez l'animal de laboratoire [15].

Une élévation de température, que ce soit pendant l'utilisation du matériau ou pendant sa mise en œuvre entraîne une dégradation thermique des matières plastiques imputable à la modification de la structure des chaînes macromoléculaires. Cette dégradation thermique peut provoquer soit une réaction sur les groupes latéraux (formation d'HCL au cours de la pyrolyse du chlorure de polyvinyle PVC). A la limite,

la dégradation thermique peut provoquer une combustion, réaction fortement exothermique [16].

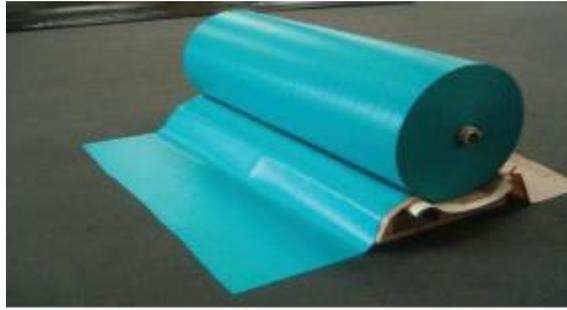


Fig.I.3. géo-membrane polychlorure de vinyle [19].

I-5-3- Les Géo-membranes polyéthylène haute densité PEHD

Le polymère le plus couramment utilisé dans le monde pour fabriquer des géo-membranes est le polyéthylène haute densité PEHD (ou plus particulièrement le polyéthylène de densité moyenne PEMD).

Le PEHD est l'un des polymères les moins coûteux qui présente une résistance à une large gamme de produits chimiques en raison principalement de sa microstructure cristalline et des bonnes propriétés à basse température. Cette géo-membrane a gagné en popularité, au début des années **1980**, par rapport aux géo-membranes PVC traditionnelles. Cette popularité est due en fait à leur résistance chimique à un large spectre et de leur capacité à être thermocollé plutôt que d'utiliser des ciments à solvant et des colles [2, 8].

Comme revêtement, le PEHD est très rigide et présente un coefficient de dilatation thermique élevé (**figure I.4**), qui exige souvent des considérations de conception spéciales. Des précautions particulières doivent être prises contre les dommages mécaniques lors de l'installation de toute géo-membrane PEHD car elle est sensible à l'encoche et toute encoche de surface peut se propager en fissures sous contrainte [13].

Les géo-membranes PEHD et PEBD fluorées en surface ont été utilisées pour tapisser un site d'enfouissement de déchets industriels réglementés conçu pour contenir des goudrons solides, des déchets de gaz, des déchets de fonderie et des sols contaminés par des hydrocarbures provenant de sites remédiés[2] radioprotection, conteneurs autoportants, prothèses (implants), fils, fûts chimiques, bidons, bonbonnes, jouets, articles de pique-nique, articles ménagers et de cuisine, câble isolation, sacs de transport, matériel d'emballage alimentaire[11].



Fig.I.4.géo-membrane polyéthylène haute densité [19].

I-5-4 Les géo-membranes polyéthylène chloro-sulfoné (CSM)

La géo-membrane CSM est une géo-membrane à base de caoutchouc synthétique de polyéthylène chloro-sulfoné (CSM). Elles sont disponibles en plusieurs versions renforcées (CSM-R). Dans sa forme initiale, fabriquée, le CSM est de nature thermoplastique, ce qui permet soudage au solvant ou thermique [2].

Les géo-membranes CSM durcissent avec le temps, augmentant ainsi la résistance à la traction, la résistance chimique et la résistance aux UV. Ils ont donc une excellente résistance aux UV et une excellente résistance aux intempéries dans les applications exposées (Schönebeck, 1984) [2].

Le CSM est utilisé comme matériau de revêtement et de recouvrement depuis plus de 30 ans et a démontré une durabilité et une longévité exceptionnelles dans les installations d'eau potable. Le revêtement CSM conservera une certaine souplesse dans les conditions de gel/dégel et résistera mieux aux éléments que la plupart des autres matériaux connus. Sa résistance à l'oxydation et son immunité à l'ozone et aux UV en font un choix de revêtement dans l'eau potable et certaines applications de déchets industriels (qui ne contiennent pas d'huiles grasses ou d'hydrocarbures), de couvertures flottantes et de lagunes exposées [16].

Les géo-membranes CSM sont, néanmoins, coûteuses par rapport au polyéthylène et au polypropylène et présentent quelques propriétés physiques inférieures à celles-ci. Des problèmes de perforation et de pique sont été signalés, en particulier associés aux couvertures flottantes. Le soudage au solvant de CSM devient de plus en plus difficile à mesure que la température baisse. Ils continuent de durcir ou de se vulcaniser au fil du temps et devient un caoutchouc durci ou semi-durci ce qui lui fait perdre sa capacité d'être facilement soudé. Bien que ce puisse être bénéfique en ce qui concerne les

propriétés mécaniques (par exemple, la résistance à la traction augmente), cependant sa capacité d'accepter des réparations diminue avec l'âge. C'est pourquoi des agents spéciaux de préparation et de liaisons sont souvent requis sur les anciennes installations [2].

I-5-5 La géo-membrane polypropylène flexible (F-PP)

Le F-PP est un matériau thermoplastique dont l'abréviation signifie polypropylène flexible. Il appartient à la famille des polyoléfines regroupant le polyéthylène PE et le polypropylène PP [18].

On parle de polypropylène flexible car la résine de base donne naissance à un matériau rigide (plus rigide que le Polyéthylène) et pour l'assouplir, il est nécessaire d'ajouter à la résine PP des élastomères thermoplastiques tel que l'éthylène-propylène, qui va donner à la structure moléculaire du PP une grande élasticité et une grande souplesse, d'où vient sa nomination polypropylène flexible [18].

Contrairement au PP, la géo-membrane F-PP offre une bonne résistance au vieillissement naturel et aux UV. Elle présente une résistance à la perforation, à la déchirure et à l'abrasion ainsi qu'une grande stabilité dimensionnelle. Ces avantages les mettent en première ligne comme étant des géo-membranes de revêtement. Grâce à leur faible cristallinité par rapport au PP conventionnel, le F-PP montre une bonne résistance à la fissuration sous contrainte [2]. Depuis le début des années 1990, ces géo-membranes ont été utilisées comme matériau d'étanchéité dans des réservoirs de retenue d'effluents des usines à papier, dans des canaux d'irrigation, des réservoirs d'eau, comme toits flottants et dans les couvertures et fonds de cellules de confinement des déchets. Elles sont tout spécialement utilisées dans les régions nordiques, car la géo-membrane conservant sa souplesse jusqu'à une température inférieure à -60 °C [18].

Les géo-membranes F-PP (**figure I.5**) s'oxydent assez rapidement en surface après installation, ou même après déroulage ce qui l'induit à la fissuration oxydative sous contrainte, notamment, le long des plis [18].

Le F-PP est également très sensible à l'oxydation accélérée par les ions métalliques de transition multivalents (ions ferriques, ions cuivres et manganèses). Contrairement au PP, le F-PP est affecté par certains solvants tels que les hydrocarbures aliphatiques halogénés et aromatiques. Lorsque leur contact est prolongé avec certains acides organiques (aldéhydes, cétones, esters et amides), les cires, les huiles ainsi que

les oxydants forts (permanganate et dichromate de potassium, chlore, acide perchlorique, peroxydes...), leur résistance aux agressions chimiques est altérée [2].



Fig.I.5. Géo-membrane en polypropylène flexible [19].

I-6- LES PROPRIÉTÉS CLÉES DES GÉO-MEMBRANES

I-6-1-Densité

La connaissance de la densité d'une géo-membrane permet de connaître la surface couverte par 1 kilogramme de matériau pour une épaisseur donnée. En effet, pour une GM telle que le F-PP dont la densité est la plus faible comme le montre **la figure I.6**, ceci indique que le F-PP couvrira une superficie plus importante de 5% et de 41% par rapport au respectivement, PEHD ou CSM.

La connaissance de la densité de la GM, également, délimite préférentiellement les domaines d'applications. Pour les géo-membranes de faible densité, à savoir F-PP, PEBDL et PEHD, celle-ci est inférieures à 1,0 (c.-à-d. la densité de l'eau). Elles ont donc tendance à flotter sur l'eau. Cela peut être bénéfique ou non suivant le domaine d'application de cette géo-membrane [2].

Par exemple, une géo-membrane F-PP avec une faible densité servira mieux comme couvercles flottants ou rideaux chicane. Pour les géo-membranes dont la densité est supérieure à 1 comme les géo-membranes PVC ou CSM, les applications d'immersion sont plus adaptées.

Pendant la mise en place aussi, les GMs à hautes densité sont plus difficiles à manipuler que les GMs à faible densité.

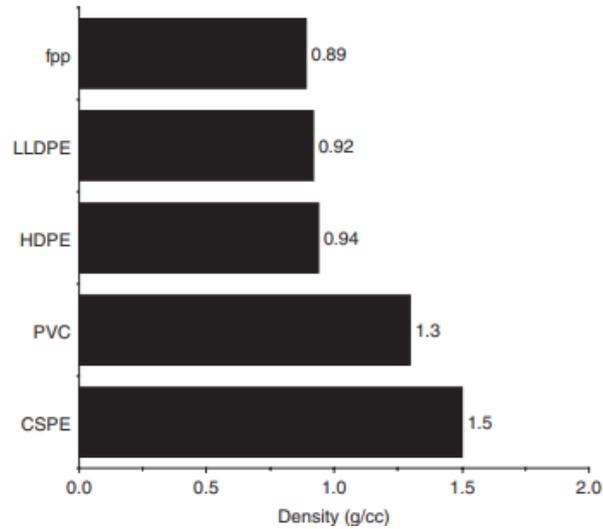


Fig.I.6. Densité de diverses géo-membrane [2].

I-6-2L'Épaisseur

L'épaisseur est un facteur important dans la sélection de la géo-membrane pour des considérations de soudage. En effet, les géo-membranes d'une épaisseur inférieure à 1,5 mm (c.-à-d. de 0,5 à 1,0 mm (**figure I.7**)) sont les plus susceptibles aux problèmes de soudage. Si les conditions de soudage ne sont pas optimales ou, si la machine de soudage n'est pas correctement réglée, il est facile d'avoir des trous dans la partie scellée de la géo-membrane fines. En général, les épaisseurs de 1,5 à 2,0 mm sont les plus recommandé du point de vue soudage [2].

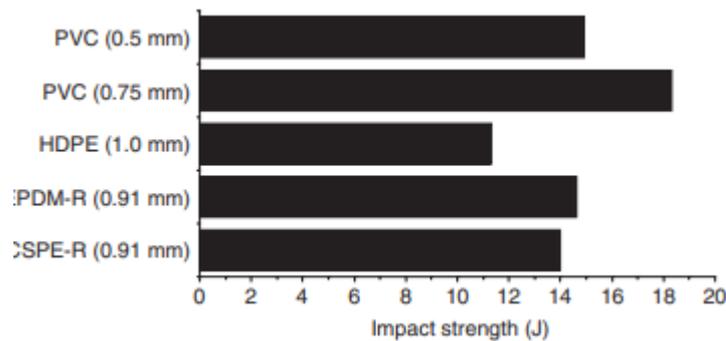


Fig. I.7. Résistance au choc à la déchirure de diverses géo-membranes [2].

La figure 7 montre la résistance à la déchirure de diverses géo-membranes. On constate que le PVC ayant une épaisseur de 0,5 et de 0,75 mm est plus résistant que le PEHD d'épaisseur de 1,0 mm. Cependant, la résistance du PEHD augmente avec l'épaisseur de la géo-membrane, ceci est aussi valable pour d'autres types de géo-membranes. En plus de ça les géo-membranes épaisses résistent mieux aux agressions

chimiques, au gradient de température, et aux fissurations sous contraintes environnementales et de corrosion [2].

I-6-3- Indice De fluidité

L'indice de fluidité (IF) définie par la norme ASTM D-1238 consiste à mesurer la masse d'un polymère qui est extrudé à travers un orifice pendant 10 min, sous une charge constante (habituellement 2,16 ; 5 ; 10 ; 15 ou 21,6 kg). Les réactions de scission de chaîne, qui sont l'une des conséquences les plus importantes de la dégradation, produisent des chaînes de polymères plus petites et ce changement dans la taille moléculaire se reflète comme une augmentation de la valeur de l'IF. Par contre lorsque la masse moléculaire est élevée, l'IF est faible et ceci peut être engendré par une formation de réseau di et tridimensionnel [2].

I-6-4 Flexibilité

La flexibilité des géo-membranes constitue un grand avantage pour celles-ci. En effet, pendant leur mise en œuvre, ceci facilite leur enroulement sans aucun endommagement. Lors de leur mise en place également, cette flexibilité permet aux feuilles d'épouser les structures et empêche la formation de plis [2].

I-6-5 Coefficient d'expansion thermique

Lorsqu'elles sont exposées au soleil ou à d'autres sources de chaleur, les géo-membranes peuvent se dilater, ce qui est une problématique. Par exemple, l'expansion thermique et l'instabilité dimensionnelle intrinsèquement élevées des géo-membranes PEHD les rendent sensibles aux variations de température de l'installation et de service. En revanche, les géo-membranes avec de faibles coefficients de dilatation thermique ne subissent pas ses changements. Il s'agit de la production de contraintes en service résultant de variations de température [2].

I-6-6 Résistance à la Traction

On exploite les essais de traction pour donner les valeurs de résistance et de déformation à la rupture et à la résistance maximale. Une grande importance est généralement accordée à la résistance à la rupture qui ne peut être considérée comme une valeur fondamentale de dimensionnement, mais plutôt comme une caractéristique

représentative d'un état extrême de déformation ne correspondant pas aux conditions normales et optimales d'utilisation [3].

I-6-7 Résistance à La Perforation

La résistance à la perforation d'une géo-membrane est importante en raison du matériau hétérogène en dessus et en dessous d'un revêtement typique. Les surfaces rugueuses, comme des pierres ou d'autres objets pointus peuvent perforer une membrane si elle ne possède pas de résistance à la perforation suffisante [20].

I-6-8 La résistance à la déchirure au niveau des points de soudage et des plis

Des données sur la résistance à la déchirure sont nécessaires, surtout lorsque la géo-membrane est posée sur des pentes ou une surface inclinée. Le renforcement améliore cette résistance à mesure que l'épaisseur de la géo-membrane augmente. Dans ces cas, la déchirure pendant l'installation devient moins problématique, et les contraintes de déchirure liées à la conception deviennent des valeurs critiques. Celles-ci sont importantes pendant la manipulation et l'installation de la géo-membrane [21].

I-6-9 Les propriétés de friction des géo-membranes

Dans la mesure où ils sont affectés par la texture des surfaces, les caractéristiques de frottement d'un géo-synthétique pourrait être considéré comme des propriétés physiques. Cependant, Comme ses les propriétés de frottement sont intrinsèquement liées aux charges de traction qui peuvent être développées dans un géo-synthétique dans des conditions de terrain, elles sont regroupées sous la classification générale des propriétés mécaniques. Le renforcement est un élément fondamental fonction d'un géotextile ce qui implique un transfert de charge entre le charge sol et géotextile. Ce transfert de charge, pour géotextile, géo-grille ou géo-membrane, dépend sur le développement de la friction entre le sol et le géo-synthétique intégré [22].

I-6-10 Perméabilité Des Géo-membranes

L'étanchéité du matériau est définie par mesure de la perméabilité. La perméabilité aux liquides peut être caractérisée par une mesure de flux entre les deux faces de la géo-membrane sous gradient de pression. Pour l'ensemble des géo-membranes actuellement commercialisées [3].

I-7- FABRICATION DES GEO-MEMBRANES

Les géo-membranes polymériques peuvent être fabriqués par un certain nombre de techniques et la nature des méthodes de fabrication peut conférer diverses caractéristiques au produit final.

Les deux principales méthodes de fabrication sont l'extrusion et le calandrage. Pour l'extrusion, on utilise, couramment, l'extrusion soufflage et l'extrusion cast [2].

I.7.1. L'Extrusion

I-7-1-1 Extrusion soufflage

Dans la méthode d'extrusion soufflage, le plastique fondu est forcé à travers une filière annulaire verticale, pour avoir une bulle gonflée qui peut atteindre un diamètre de 900 mm. Celle-ci est ensuite tirée grâce aux rouleaux de refroidissement pour avoir une feuille plate comme le montre **la figure I.8**.

Une ligne d'extrusion soufflage, permet de produire une géo-membrane de 7 m de largeur et de 0,5 à 2,5 mm d'épaisseur. Cette technique permet d'extruder une géo-membrane tri-couches avec des matrices différentes tout en optimisant la fluidité des polymères. Typiquement, trois extrudeuses (A, B et C) sont utilisées pour alimenter la filière verticale. L'extrudeuse B constitue le cœur de la géo-membrane et A et C les couches externes. L'extrusion soufflage permet aussi d'avoir des GMs texturées.

Cette technique est moins coûteuse que l'extrusion cast. Toutefois, elle induit à la formation d'une ligne de pliage donnant ainsi d'autres caractéristiques à la géo-membrane. Le film soufflé comprend, également, des déchirures, des trous d'épingle en raison de ce qu'on appelle les non-fondus, les gels et accumulation de matrice [2].

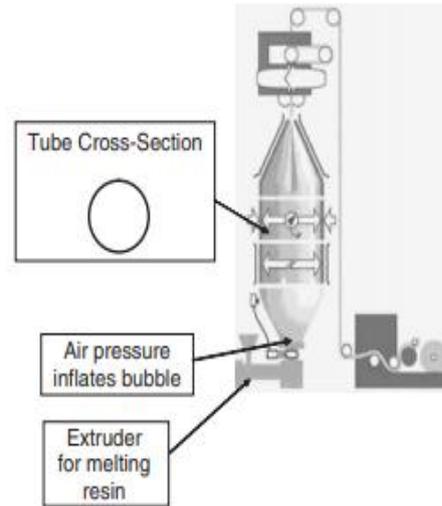


Fig. I.8. Méthode de fabrication de la géo-membrane à film soufflé [2].

I-7-1-2 L'extrusion Cast

Dans la méthode d'extrusion Cast, le plastique fondu est forcé à travers une filière plate, puis entre les rouleaux de refroidissement polis pour produire la feuille de géo-membrane plate. Cette filière plate permet à la fois, une distribution uniforme du polymère fondu le long de la largeur de la filière et l'obtention d'un profil d'écoulement uniforme.

L'extrusion cast des géo-membranes est une technique qui permet un bon contrôle de l'épaisseur que l'extrusion soufflage. Cependant, des progrès dans le contrôle de la jauge pour cette dernière permettent de combler cet écart [2].

Le procédé d'extrusion est, généralement, utilisé pour obtenir des géo-membranes en PEHD, PEBDL, PVC, F-PP...

I-7-2 Le Calandrage

Le processus de calandrage est le plus couramment utilisé pour produire du PVC, CSM, et canevas renforcé (-R) géo-membranes, y compris CSM -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 associés pour former un ultime- couches « géo-membrane. Cela est principalement utilisé pour associer des feuilles polymères ayant des propriétés complémentaires. Cependant, dans les années 1970, les géo-membranes 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 géo-membranes. 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 géo-membranes avec une surface texturée [13].

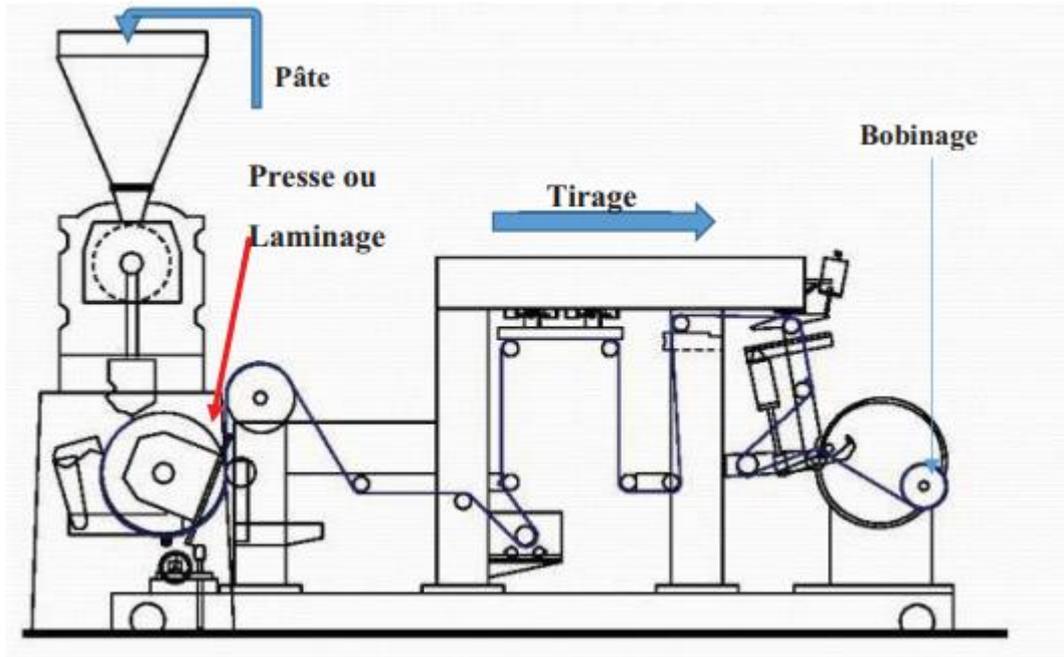


Fig. I.9. Représentation du procédé de calandrage [19].

CHAPITRE II

LES GEO-MEMBRANES POLYETHYLENE & THERMOPLASTIQUES OLEFINES

II-1- LES GEO-MEMBRANES POLYETHYLENE

Les géo-membranes polyéthylène sont très utilisés pour les travaux d'imperméabilisation qui demandent une durabilité à long terme. Sa grande stabilité chimique fait du PE le matériau le plus utilisé pour les projets de sites d'enfouissement, de bassins de résidus miniers ou de bassins de traitement des eaux [23].

Comme tout autre géo-synthétiques, les géo-membranes PE sont composées d'un mélange de constituants, principalement, une matrice comme PEHD et PEBD, une charge comme le noir de carbone et les silicates et divers additifs pour différentes raisons (des additifs de procès, des antioxydants, des colorants, des retardateurs de flammes, des agents antistatiques ...) [23].

II-1-1 Les Polyéthylènes

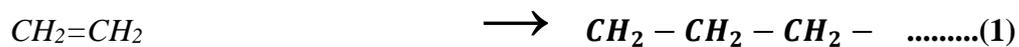
Le polyéthylène (PE) appartient à la famille des polyoléfines. Il a été découvert en 1933 par Reginald Gibson et Eric Fawcett du géant industriel britannique Imperial Chemical Industries (ICI) [11].

Le PE est un polymère semi cristallin composé de parties cristallines dans lesquelles les chaînes se replient sur elles-mêmes pour former des segments réguliers qui s'empilent selon un réseau cristallin pour former des cristallites, et de parties amorphes qui séparent les lamelles cristallines et dans lesquelles se trouvent des boucles de repliements, des bouts de chaînes, des enchevêtrements ainsi que des molécules liens. L'organisation et la régularité des chaînes macromoléculaires dans la zone cristalline impliquent une exclusion de tout agent étranger au PE (agents stabilisants...). Un polymère semi cristallin est défini par son taux de cristallinité : fraction massique du polymère engagé dans les cristaux [24].

II-1-1-1 La polymérisation De Polyéthylène

Le polyéthylène est un matériau thermoplastique obtenu par polymérisation de l'éthylène [$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$] par ouverture de la double liaison, menant ainsi à des macromolécules composées par la répétition « n fois » du motif ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2$) comme le montre le schéma II.1 [25].

La macromolécule [$\text{CH}_2 - \text{CH}_2$] $_n$ peut comporter jusqu'à 50000 atomes de carbone, et pour de nombreux polymères commerciaux la masse molaire peut atteindre 1 000 000 g. mol⁻¹[26].



Monomère d'éthylène [$-\text{CH}_2 -$] $_n$

Polymère de polyéthylène

Schéma II.1. Réaction générale de polymérisation du PE [25].

II-1-1-2 Structure Cristalline Du Polyéthylène

Le polyéthylène cristallise dans une structure orthorhombique qui fut caractérisée dès 1939 par Bun. Les paramètres de maille ont les valeurs suivantes (la figure II.1) : ($\mathbf{a} = 0.742 \text{ nm}$, $\mathbf{b} = 0.493 \text{ nm}$, $\mathbf{c} = 0.2534 \text{ nm}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) [27].

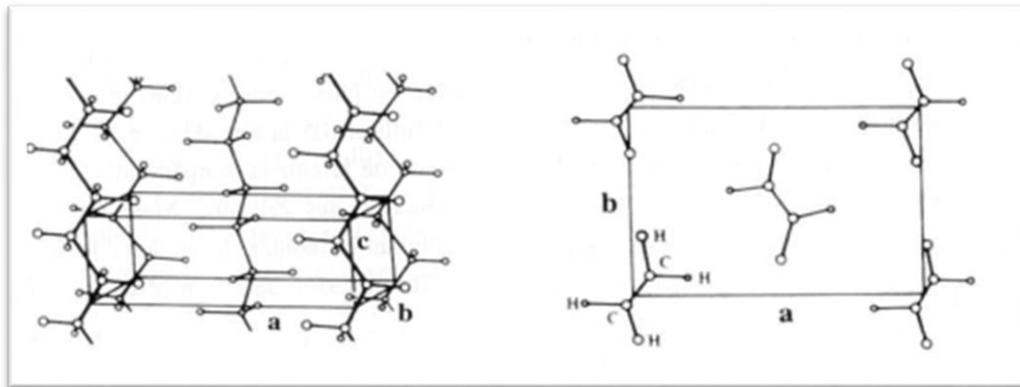


Fig. II.1 .La structure orthorhombique des polyéthylènes [27].

II-1-1-3 Types Du Polyéthylène

Il existe différents types de polyéthylènes classés en fonction de leur densité dépendant du nombre et de la longueur des ramifications présentes sur les chaînes moléculaires. Parmi lesquels on peut citer [28]

II-1-1-3-1 Le Polyéthylène Haute Densité (PEHD)

Le polyéthylène haute densité (PEHD) est un thermoplastique blanc obtenu par polymérisation cationique sous faible pression (<10MPa) et à des températures inférieure à 200°C par le procédé Ziegler (catalyseur organométallique à base de titane). Il se présente sous la forme d'une chaîne macromoléculaire linéaire régulière (**figure II-2**) généralement compris entre 2000 et 50 000 unités de monomères. Ils se manifestent sous la forme de courtes ramifications (1 à 5 ramifications pour 1000 carbone) [27].

La structure quasi linéaire du PEHD lui permet une cristallisation élevée ($X_c \approx 90\%$) et une faible perméabilité [28,29].



Fig.II.2. La Structure Cristalline De PEHD [29].

Le PEHD présente une bonne résistance mécanique, aux chocs, aux flexions et aux cisaillements, même à basse température ($T < 0^\circ\text{C}$). Il a également une faible conductivité thermique donc un bon isolant [30].

C'est un matériau rigide (1600 MPa) avec une excellente résistance à la plupart des solvants (les alcools, les acides dilués...) ce qui lui permet une bonne tenue à long terme (plus de 100 ans) [29].

Certaines propriétés du PEHD sont présentées dans le tableau II.1 ci-dessous.

Tableau II-1 : Propriétés du PEHD [31].

Propriétés	Unité	PEHD
PHYSIQUES		
-Masse volumique	g/cm ³	0.925-0.956
-Taux de cristallinité	%	75-80
-Masse molaire moyenne	g/mol	10000
MECANIQUES		
-Contrainte à la rupture	MPa	13-25

-Module de traction	MPa	200-300
-Module de flexion	MPa	60-400
-Dureté (shore)	Echelle D	41-60
<i>THERMIQUES</i>		
-T° de fusion	°C	120-136
-T° Vicat	°C	85-87
-Plage de T° de résistance	°C	de -70 à +60

. En plus des propriétés citées auparavant, le PEHD est connu pour être insensible à la corrosion, et montre une facilité au soudage avec limitation de nombre de joint avec la soudure donc de source de fuites [32].

Cependant, le PEHD est sensible aux UV (dégradation photo-lytique) en présence d'oxygéné. Il est aussi sensible aux variations de température pouvant rendre le raccordement sur des réseaux existants critiques si ceux si sont fragiles [32].

Grâce aux diverses propriétés que présente le PEHD, il est l'un des candidats pour les utilisations comme géo-membrane. Toutefois, une géo-membrane en PEHD est constituée en moyenne de 97% de PEHD, de 2,5% de noir de carbone et de 0,5% d'antioxydant. Ces additifs sont inclus dans la matrice lors du processus de fabrication. Ils ne sont pas liés chimiquement à la matrice mais sont dispersés à l'intérieur [24].

Les géo-membranes en PEHD présentent une grande inertie vis-à-vis de nombreux produits chimiques. Elles sont cependant délicates à mettre en œuvre du fait de leur manque de souplesse, de leur forte dilatation thermique, et de la technicité de leur raccordement. De plus, elles sont sensibles au phénomène de fissuration sous contrainte [3].

D'autres applications du PEHD existent comme dans les produits nécessitant une rigidité, faible perméabilité et une bonne résistance chimique, comme le secteur d'emballage : pour la fabrication des flacons (détergents, cosmétiques...), bouteilles, jerricans, réservoirs de carburant d'automobiles, etc. ainsi que dans l'hydraulique comme tuyauterie [33].

II-1-1-3-2 Le polyéthylène Moyen Densité (PEMD)

Le polyéthylène moyen densité est produit par copolymérisation d'éthylène avec des α -oléfines (par exemple : 1-butène, 1-hexène et 1-octène) à l'aide d'un catalyseur hétérogène type Ziegler-Natta est un mélange de tétrachlorure de titane et de tri éthyle ou tri-octyl-aluminium. $TiCl_4$. Ce dernier permet de contrôler la tacticité du polymère obtenu grâce à l'utilisation d'une nouvelle génération de catalyseur à base de chrome ou de catalyseur à un seul site. Le PEMD ne peut pas être produit par libre polymérisation radicale [34]. Il présente une structure linéaire semblable au PEBDL, mais contient un plus faible taux de Co-monomère. Sa densité est généralement de 0,93 à 0,94 g/cm³ [34].

Le PEMD est normalement un mélange de PEBD et PEHD et a donc des propriétés profits entre ces deux matériaux. Il a une bonne résistance à l'impact. Il est aussi moins sensible à l'encoche et présente une meilleure résistance à la fissuration que le PEHD [11].

Il est aussi utilisé dans les applications de géo-membrane et de canalisation grâce à sa résistance à la fissuration plus importante que le PEHD [34].

II-1-1-3-3 Le polyéthylène a basse densité (PEBD)

Ce polymère thermoplastique de grande consommation est obtenu par polymérisation radicalaire de l'éthylène sous haute pression à environ 200°C [8]. Pour initier la réaction radicalaire, un initiateur de radicaux libres tel que le peroxyde ou l'oxygène est utilisé.

Le PEBD contient quelques longues et courtes ramifications, de 20 à 40 ramifications pour 1000 carbone. Cette structure donnant ainsi une densité plus faible et une flexibilité plus grande à celle quand peut obtenir dans le cas du PEHD [25]. Cependant, cette structure engendre une faible cristallisation des chaînes (moins de 50 à 60 % de partie cristalline par rapport au PEHD) [29].

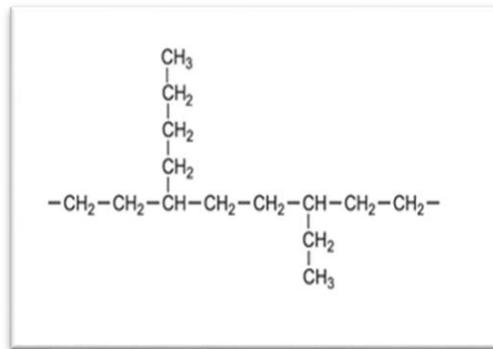


Fig.II.3. Structure branchée Du PEBD [29].

Le PEBD est caractérisé par une bonne propriété diélectrique, une faible perméabilité à la vapeur d'eau et une bonne résistance à la fissuration sous contrainte [35]. Il a une bonne résistance chimique (très résistant au acide et base soit forts ou faibles) et présente aussi une bonne résistance aux solvants organiques [36].

D'autres propriétés physiques et thermiques sont présentées dans le tableau ci-dessous (**tableauII-2**).

Tableau II-2 : Propriétés de PEBD [36].

Propriétés	Unité	PEBD
PHYSIQUES		
-Masse volumique	g/cm ³	0.915-0.93
-Taux de cristallinité	%	65-70
MECANIQUES		
-Contrainte à la rupture	MPa	9-12
-Module de traction	MPa	200-300
-déformation à la rupture	%	100-600
THERMIQUES		
-T° de fusion	°C	110-125
- Transition vitreuse (Tg)	°C	-110 °C

Le PEBD présente aussi d'autres avantages à savoir : une résistance aux chocs et à l'abrasion, même à froids. Il est aussi inerte chimiquement et pour cela il est recommandé pour usages alimentaires. Tout comme les précédents types, le PEBD est résistant à la corrosion et à l'oxydation [25].

Par ailleurs le PEBD présente une faible résistance au feu, et au milieu hydrolytique à haute température. Il permet une rapide propagation des fissures ce qui empêche entre autre son visage et son collage [25].

On peut trouver le PEBD, généralement, dans des applications d'emballage qu'il soit industriel, alimentaire ou de produits hygiéniques. Il est aussi utilisé pour l'isolation de câbles électrique et de télécommunications [25].

Les géo-membranes PEBD ont une bonne résistance mécanique, plus d'élasticité et de flexibilité que la géo-membrane PEHD. Au même temps, elles présentent une innocuité, et une surface lisse et plate. Elles sont aussi comme la matrice résistante à la corrosion [37]. Dans la géo-membrane PEBD, le noir de carbone disperse de façon homogène dans la matrice, dans laquelle on ajoute également environ 3 % en poids de résine porteuse de PEBD [38].

La géo-membrane PEBD s'applique aux piscines, aux canaux, aux remblais, aux fermes, aux sites d'enfouissement, aux tunnels imperméables pour contrôler les infiltrations [37].

II-1-1-3-4 Le Polyéthylène Basse Densité Linéaire (PEBDL)

Le polyéthylène à basse densité linéaire est obtenu par copolymérisation de l'éthylène et d'une ou plusieurs α -oléfines (butène-1, hexène-1, octène-1, tétraméthyl-4-pentène-1) à l'aide de catalyseurs de type Ziegler ou Phillips ou de type « métallo-cène », sous basse ou haute pression [39].

Le PEBDL à base de catalyseur métallo-cène est caractérisé par une distribution plus homogène et plus étroite du poids moléculaire et de ramifications à courtes chaînes [40].

En fonction de la teneur des polyéthylènes en Co-monomères, on fabrique des produits de masse volumique allant de 0,860 à 0,945 g/cm³. Les branches sont, préférentiellement, situées dans les chaînes de plus faible masse moléculaire [39].

Le PEBDL diffère du PEBD par ses ramifications plus courtes et par sa distribution étroite du poids moléculaire. Par conséquent, sa cristallinité (semi-cristallin 35 à 60 %) et ses propriétés mécaniques sont plus élevées que celles du PEBD [39].

Le PEBDL a une ténacité et une grande résistance à la perforation par rapport à ceux obtenus à partir du PEBD. Et une résistance aux chocs élevés, associées à de bonnes résistances chimiques aux acides et aux solutions aqueuses, propriétés diélectriques, tenue au scellage à chaud. Le PEBDL exhibe aussi une meilleure résistance thermique, à la fissuration et barrière à l'humidité. Ils sont plus souples que le PEHD (un quart de la rigidité du PEHD) [39].

D'autres propriétés mécaniques et thermiques sont présentées dans le tableau ci-dessous (**tableau II-3**).

Tableaux II-3: Propriétés mécaniques et thermiques du PEBDL [41].

Propriété	unité	PEBDL
Mécanique		
Contrainte à la rupture	MPa	9-12
Déformation à la rupture	%	400-600
Module d'élasticité	MPa	200-300
Thermiques		
Température de fusion	°C	110-125
Transition vitreuse (Tg)	°C	-110

Le PEBDL présente une flexibilité, peut être soudée facilement et simplement. Il est disponible dans les qualités potables d'eau et est relativement bon marché [39].

Par ailleurs, il est difficile à mettre en œuvre par extrusion en raison de sa distribution étroite de la masse moléculaire des chaînes et présente des propriétés optiques médiocres relativement au PEBD [39].

Les propriétés de frottement de surface sont faibles à moins que la géo-membrane soit fortement texturée. Il est utilisé dans les installations exposées pouvant nécessiter des clôtures pour prévenir les dommages causés par les animaux. Ainsi la réparation du PEBDL peut être problématique, car elle nécessite l'utilisation d'un pistolet d'extrusion qui nécessite une compétence considérable pour le faire fonctionner correctement [2].

La géo-membranes PEBDL a été présenté pour combler le manque intransigent de flexibilité du PEHD [2].

Une géo-membrane en PEBDL est constitué par 94 à 98 % de résine de polyéthylène base densité linéaire, de 2 à 3 % de noir de carbone et 0.25 à 3 % d'antioxydants [42]. Les principales applications du PEBDL comprennent les films soufflés pour l'emballage, et les fils et les câbles de revêtements [39].

II-1-2 Noir De Carbone

Le noir de carbone se présente sous la forme d'une poudre constituée de particules. A l'échelle nanométrique, les particules de noir de carbone sont des masses sphéroïdales constituées par des atomes de carbone ayant une organisation plus ou moins graphitique [51].

Ces particules élémentaires ont des tailles de quelques dizaines de nanomètres. Elles sont liées entre elles par des liaisons covalentes et s'organisent en clusters pour former des entités tridimensionnelles complexes d'une centaine de nanomètres appelées agrégats. A leur tour, ces agrégats s'assemblent en amas par l'action des forces attractives du type Van der Waal pour former des agglomérats dont la taille peut atteindre plusieurs centaines de microns (**Figure II.4**) [51].

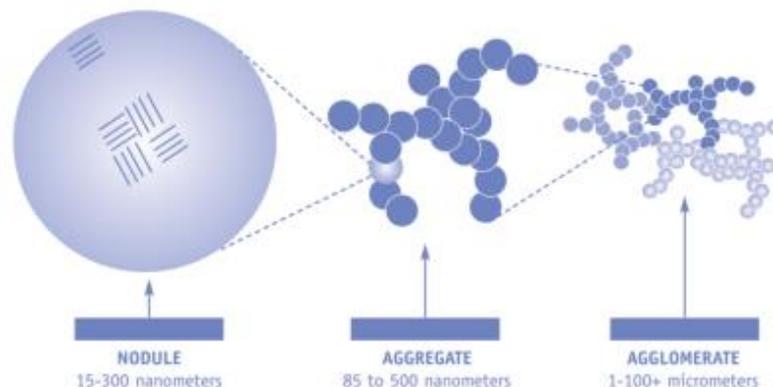


Fig. II.4. Différentes Structures Du Noir De Carbone [51].

Les noirs de carbone contiennent de faibles quantités de sous-produits adsorbés à leur surface (hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP - ainsi que des dérivés nitrés et soufrés de HAP) [52].

La surface spécifique des noirs de carbone s'étend de 10 m²/g (noir thermique) à 300 m²/g (noir de fourneau). Ils sont insolubles dans l'eau ainsi que dans les solvants organiques [52].

Noir de carbone est utilisé dans la fabrication de géo-membranes de polyéthylène. Celui-ci est ajouté lors de la production du produit et dispersé dans la masse même de la résine. Le pourcentage de noir de carbone est choisi de telle façon que le rayonnement UV ne soit pas en mesure de pénétrer dans le matériel au-delà d'une très faible profondeur, sans toutefois altérer les autres propriétés du produit. Sa dispersion est contrôlée de façon à ce qu'aucun agglomérat ne crée des zones susceptibles de créer une concentration de contraintes, notamment vis-à-vis de la problématique de la fissuration sous contrainte [18].

II-2 LES THERMOPLASTIQUES OLEFINES

Le terme « thermoplastique » est un terme générique dans la science des polymères ; il regroupe une catégorie de polymères qui, tel que mentionné précédemment, ramollissent lorsqu'ils sont chauffés, ce processus étant réversible. Le terme « oléfine », quant à lui, est encore plus générique car c'est le nom ancien donné en chimie aux molécules comportant une liaison double carbone-carbone (le nom moderne de cette famille de molécules est « alcène »). Tous les polymères formés par liaison chimique de plusieurs molécules d'oléfine sont appelés « polyoléfines ». Suivant le plus récent projet de norme ASTM visant les TPO, leur composition n'est pas du tout spécifique. La norme indique que les TPO doivent contenir plus de 95 % de polymère TPO en masse [53].

Les thermoplastiques polyoléfines (**TPO**) sont des mélanges physiques de moins de 40 % de polypropylène (phase dure) et d'un caoutchouc : éthylène-propylène diène monomère (**EPDM**), Butadiène-nitrile acrylique dénommé caoutchouc nitrile (**NBR**), Caoutchouc naturel(**NR**), Caoutchouc butyle chloré (**CIIR**) [43].

La morphologie d'un composé TPO est complexe. La distribution, la taille et la forme du caoutchouc et les phases de polyoléfines sont déterminants pour les propriétés du composé. La phase de polyoléfine est presque continue [54]. La phase caoutchouc peut être soit continu ou discret, selon le montant de caoutchouc par rapport à la quantité de polyoléfine (la plupart des souvent du polypropylène) ; le type de

caoutchouc utilisé, la procédure de mélange utilisée, et les autres compositions utilisés sont des facteurs. Dans la plupart des formulations, la phase caoutchouc sera continue si cette phase se situe entre 45 % et 48% du volume total. Dans cette gamme, les deux Les phases de polypropylène et de caoutchouc sont continués. Sur le site l'une ou l'autre extrémité de cette gamme, la viscosité du caoutchouc par rapport à celui du polypropylène est le principal facteur pour savoir si la phase caoutchouc ou la phase polypropylène est continue. Les autres facteurs sont la forme physique des différents additifs et leur la compatibilité avec l'une ou l'autre des phases [54].

En plus du caoutchouc et de la polyoléfine utilisée, d'autres constituants sont utilisés dans la préparation de la formulation TPO. Il peut s'agir de charges, d'agents de renforcement, de plastifiants, de lubrifiants, agents de glissement, antioxydants, stabilisateurs de chaleur, absorbeurs UV ou encore des colorants .En général, la plupart des additifs sont contenus dans la phase de caoutchouc à température ambiante. Une étude a trouvé que même dans une formulation TPO qui contenait 20% en poids de noir de carbone, pratiquement aucune fraction du noir de carbone n'était en phase polypropylène [54]. À des températures de transformation, certains additifs peuvent se transformer en la phase polyoléfine. Les plus petites molécules qui sont solubles dans une polyoléfine sont libres de passer à cette phase une fois que la polyoléfine a fondu. Par exemple, les huiles d'hydrocarbures se répartissent entre les phases, en abaissant considérablement la viscosité de la masse fondue. Lors de la solidification, l'huile retourne à la phase caoutchouc et donne le résultat souhaité de l'assouplissement et de l'extension du caoutchouc.

Souvent, les TPO sont composés de charges – généralement minérales – pour offrir un bon équilibre entre rigidité et résistance aux chocs, ainsi qu'une meilleure stabilité dimensionnelle et une température de déflexion thermique élevée (TFC) [44]. Ainsi le TPO a une excellente résistance aux UV et aux micro-ondes par rapport aux géo-membranes PEHD. Ils sont aussi souples à basse température [45].

Bien que le coût des TPO soit souvent légèrement supérieur à celui des composés traditionnels en PP, les TPO demeurent un choix très rentable pour les applications nécessitant une bonne résistance aux chocs à très basse température et une bonne rigidité lorsque d'autres matériaux en polyéthylène (PE) ou en polypropylène (PP) ne répondent pas aux exigences d'application [44]. Il est aussi résistant à beaucoup de produits chimiques.

Par leur nature chimique, la plupart des composés de TPO sont de bons matériaux isolants électriques. Ils ont une bonne résistance diélectrique et n'absorbent pas l'humidité. Leur module de flexion peut varier de 6,9 à 725 MPa. La combinaison spécifique de propriétés, telles que la dureté, le module de flexion, la résistance à la traction, la résistance à la déchirure et la résistance au choc, variera selon la composition de TPO [54].

Dans le cas de la géo-membrane en TPO et afin d'assurer une étanchéité optimale, les fabricants usent, principalement, de polyoléfine thermoplastique. Sur certains modèles, un textile en verre est ajouté pour stabiliser la géo-membrane et la rendre encore plus résistante. La géo-membrane en TPO se distingue par sa flexibilité et sa capacité à supporter des températures de -45 °C à 95 °C tout en conservant ses caractéristiques techniques, dont sa légèreté, sa résistance à la perforation, sa flexibilité et son étanchéité. Elle peut assurer l'imperméabilité d'un bassin et d'un canal ainsi que la récupération et l'amélioration du sol, entre autres [48]. Les colorants TPO peuvent être assortis à des additifs UV afin de réussir les tests de vieillissement accéléré qui est de deux ans en extérieur [49].

Grâce à leur haute résistance au vieillissement, les membranes d'étanchéité TPO sont principalement utilisées pour l'étanchéité des réservoirs et barrages. En plus du fait qu'il est respectueux de l'environnement, son innocuité est mise à profit pour la protection des réservoirs de confinement pour l'eau potable ou d'autres boissons, ainsi que pour la pisciculture [50].

II-2-1 Dioxyde De Titane

Le dioxyde de titane (TiO₂) est utilisé dans de nombreuses applications (additif alimentaire, cosmétiques, pigments), notamment pour ses propriétés d'absorption des rayons ultraviolets et son caractère colorant blanc (additif alimentaire), et se présente, au moins partiellement, sous forme de poudre nanométrique. Point sur les différents travaux menés par l'Agence sur le TiO₂ [62]. Il est largement utilisé comme pigment minéral blanc dans les polymères. C'est un pigment de type rutile de chez Pro-labo, ayant une densité de 4,17g/cm³, une masse molaire de 79,90 g/Mol, une pureté de 99,94% et une taille moyenne des particules inférieure à 50 µm [63].

C'est pratiquement le seul pigment blanc utilisé dans les matières plastiques. Employer avec des pigments colorés, il permet d'obtenir des nuances opaques. Il est commercialisé sous deux formes cristallines [63] :

- L'anatase : plus blanc et moins opaque que le rutile.
- le rutile : un peu plus jaunâtre que l'anatase, mais possède un meilleur pouvoir opacifiant et une excellente solidité à la lumière et aux intempéries.

CHAPITRE III

MATERIAUX UTILISÉS

ET TECHNIQUES D'ANALYSES

III-1- MATÉRIAUX UTILISÉS

III-1-1 Les Géo-membranes

Les géo-membrane utilisées dans ce travail sont des géo-membranes commercialisées par l'unité ALGM de BBA. Les Échantillons sont offerts gracieusement par l'unité.

Dans cette étude on a travaillé sur 4 formulations différentes. Trois d'entre elles à base de polyéthylène moyenne densité et la quatrième en thermoplastique oléfines (TPO). L'épaisseur des formulations est de « 1,5 mm ». Les trois premières formulations sont notées suivant le mélange maître de noir de carbone utilisé à savoir : Ampacet, Shulman et Cabot. La quatrième formulation est noté TPO suivant la matrice.

Les géo-membranes sont composée d'une fraction majoritaire de polyéthylène moyenne densité (PEMD), une fraction de polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL) et environ 3-5 % de noir de carbone sous forme d'un mélange maître.

La formulation De thermoplastique polyoléfine TPO utilisé contient, majoritairement, du TPO, une fraction d'antioxydants ainsi qu'une fraction d'oxyde de Titane.

L'essentiel des propriétés des matériaux utilisés telles quelles sont données par la fiche techniques, est résumé dans le tableau ci-dessous.

Tableau.III.1 : Propriétés des polyéthylènes utilisés dans l'étude telles quelles sont
Données par les fiches techniques.

Matériau	PEMD	PEBDL	TPO
Propriété			
Densité (Kg.m ⁻³)	938	931	0.88
MFI (g/10min)	0.12 (190/2.16)	0.2	0.6 (230/2.16)
T _f (°C)	129	127	/

Vicat (A50/10N) (°C)	113	/	60
Dureté Shore D	/	/	30
σ_R(MPa) MD/TD	65/50	50/40	11
ϵ_R(%) MD/TD	400/650	400/700	500
σ_s(MPa) TD	20	/	Pas de seuil
E (MPa) MD/TD	550/650	300/400	Pas de seuil
Pénétration (N)	1/7	/	/
Antioxydant	Oui	oui	/

Tableau.III.2 : Propriétés des masters batch utilisés dans l'étude telles quelles sont
Données par les fiches techniques.

Matériau	Ampacet	Cabot	Schulman	Oxyde de Titanium
Propriété				
Densité (g.cm⁻³)	1,17	1,15	1,15	2.04
Taux de Noir de carbone %	40	40	40	70
Antioxydant	Oui	Oui	Oui	/
Anti UV	Oui	/	Oui	/
Matrice de transport	PEBDL	PE	PE	PEBD

III-2- PROCÉDÉ D'ELABORATION DE LA GÉO-MEMBRANE

La fabrication de la Géo-membrane PE et TPO est réalisée par le procédé extrusion Cast sur une ligne de production allemande Khaune K125. Un pré-mélange formulé par un dosage gravimétrique est d'abord réalisé suivant les fractions désirées, puis introduit dans la zone d'alimentation d'une extrudeuse mono-vis conçue pour la transformation de la résine. La vis possède un rapport L/D important afin d'assurer un débit allant jusqu'à 1000Kg/h. La fusion complète des particules solides après la zone de compression et l'homogénéisation des différents additifs s'effectuent par une deuxième Hélice dans la zone de pompage et par un mixeur qui se trouve à la fin de la vis. Le profil de température utilisé varie entre 180°C à la zone d'alimentation et 210°C. Dans la zone de compression, la température est variée selon la résine utilisée. Pour les géo-membranes PE, elle se situe entre 210 et 230°C et pour la GM TPO entre 215 à 230 °C. La matière fondue passe par une série de tamis de différentes tailles pour éliminer

les impuretés puis par un mélangeur statique pour homogénéiser le mouvement de la matière et éliminer les zones mortes.

À la sortie du mélangeur statique, la matière est aplatie à travers une filière plate d'une largeur de 7m pour former la plaque de géo-membrane. La plaque est ensuite insérée à travers une série de calandres afin d'ajuster l'épaisseur à 1,5 mm, de refroidir la plaque jusqu'à la température ambiante et tirer la plaque par une vitesse constante.

III-3- TECHNIQUES DE CARACTERISATION

III-3-1-Essai de traction

La mesure des propriétés mécaniques en traction des échantillons est réalisée à la température ambiante sur des échantillons découpés sous forme d'haltères (**figure III.1**) de 1 mm d'épaisseur, 6 mm de largeur et 12 mm de longueur, selon la norme EN ISO 527-3. Les tests ont été effectués sur une machine de traction Zwick/ Roell Z2 équipé d'une charge d'1kN (**Figure III.2**). La force appliquée est mesurée à l'aide d'un capteur à jauges extenso-métrique. L'allongement de l'éprouvette est mesuré par un extensomètre à jauges.

La vitesse de déformation est fixée à 100 mm/min. Et pour chaque formulation, au moins cinq échantillons ont été testés.

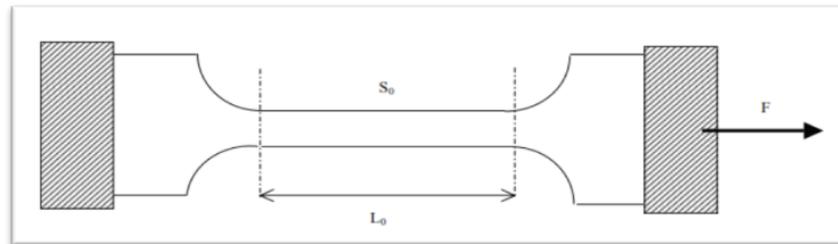


Fig. III.1 .La Machine De Traction Mécanique.

L_0 : longueur utile initiale de l'éprouvette.

S_0 : section initiale de l'éprouvette.

L : longueur utile de l'éprouvette (fonction de l'effort exercé).

F : force appliquée à l'extrémité de l'éprouvette



Fig.III.2. Éprouvette De Traction Mécanique.

Les propriétés en traction (Module d'Young E , contrainte à la rupture σ_r et déformation à la rupture ϵ_r ainsi que la contrainte et déformation au seuil d'écoulement σ_e et ϵ_e) sont évaluées à partir des courbes contrainte- déformation comme suit :

- **Module d'élasticité :**

C'est le rapport de la contrainte de traction à la déformation correspondante dans la limite de contrainte maximale qu'une matière peut supporter. Il représente un critère de rigidité, il s'exprime suivant l'équation (1).

$$E = (\sigma_{0.0025} - \sigma_{0.0005}) / (\epsilon_{0.0025} - \epsilon_{0.0005}) \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Où :

E: Module d'élasticité (MPa).

$\sigma_{0.0025}$, $\sigma_{0.0005}$: Est la contrainte correspondante, respectivement, à l'allongement de 0.25 et 0.05 %.

$\epsilon_{0.0025}$, $\epsilon_{0.0005}$: Est la déformation, respectivement, de 0.25 et 0.05 %.

- **Contrainte à la rupture :**

C'est la charge de traction supportée par l'éprouvette à l'instant de sa rupture par unité de surface, elle est donnée suivant l'équation(2) :

$$\sigma_r \text{ (Pa)} = F/S \quad (2)$$

Où :

F: Charge de traction supportée par l'éprouvette à la rupture (**N**).

S: Section initial (**m²**).

- **Allongement à la rupture :**

C'est l'augmentation de la distance entre les repères sur la partie calibrée de l'éprouvette produite par une charge de traction au moment de la rupture de l'éprouvette. Il est indiqué en pourcentage sous la forme suivante :

$$\epsilon_r (\%) = \Delta l / l_0 \quad (3)$$

Où :

$\Delta l = l - l_0$: Allongement à la rupture.

l_0 : Longueur initiale de l'éprouvette.

l : Longueur finale de l'éprouvette.

- **Contrainte au seuil :**

C'est la charge de traction supportée par l'éprouvette au seuil d'écoulement par unité de surface, elle est donnée suivant l'équation(4) :

$$\sigma_s (\text{Pa}) = F_s / S \quad (4)$$

Où :

F_s: Charge de traction supportée par l'éprouvette au seuil d'écoulement (**N**).

S: Section initiale (**m²**).

- **Allongement au seuil :**

Il est donné par l'équation (5) :

$$\epsilon_s (\%) = \Delta l / l_0 \quad (5)$$

Où

$\Delta l = l - l_0$: Allongement au seuil d'écoulement.

L_0 : Longueur initiale de l'éprouvette.

l : Longueur au seuil d'écoulement de l'éprouvette.

III-3-2-Essais de Dureté Shore D

Les mesures de la dureté Shore D ont été effectuées sur un d'uromètre digital type Zwick/Roell 3130/3131, suivant la norme ASTM D2240. Après avoir placé l'échantillon sous l'aiguille du d'uromètre, une charge de 5 Kg est appliquée, mais la valeur de la dureté n'est lue qu'après la stabilisation de l'aiguille dans la matière. Dix mesures ont été effectuées sur chaque échantillon à des points distants d'environ 3 mm les uns des autres et environ 12 mm des bordures de l'échantillon. Les résultats sont exprimés par la moyenne des dix valeurs d'essais réalisées.



Fig.III-3. Instrument De Mesure De La Dureté Shore D.

III-3-3 Essais de poinçonnement

La mesure de la force de poinçonnement maximale (Résistance au poinçonnement) est réalisée à la température ambiante suivant la norme ASTM D4833. Les éprouvettes se présentent sous forme de disque d'un diamètre moyen de 150 mm comme le montre la **figure III.4**. Les tests ont été effectués au niveau de l'unité ALGM-BBA, sur une machine de traction Zwick/ Roell Z2 équipé d'une charge d'1KN comme le montre la **figure III.5**. Durant cet essai, le poinçon (d'un diamètre de 0.8mm) est amené au contact de l'éprouvette et enfoncer au travers de celle-ci à une vitesse de 50 ± 5 mm/min. L'enregistrement de l'enfoncement commence à une pré-charge de 20 N.



Fig. III.4. Eprouvettes Pour L'essai De Poinçonnement.

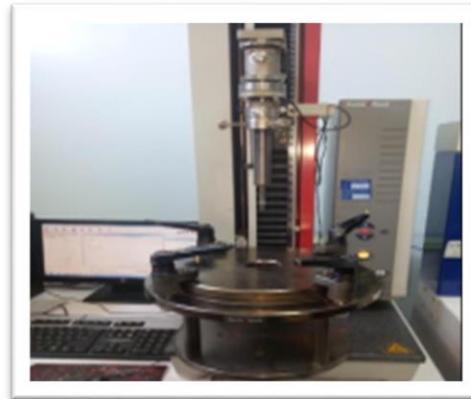


Fig.III-5.Machine De Traction Mécanique Avec Le Dispositif Poinçonnement.

III-3-4-Densité

La densité des échantillons est déterminée en utilisant une balance hydrostatique Mettler Toledo modèle ML. Cette balance permet de déterminer la masse de l'échantillon dans l'air et dans un liquide auxiliaire comme l'éthanol. En connaissant la masse volumique de l'air et celle du liquide auxiliaire, on applique la relation suivante pour déterminer la densité de l'échantillon :

$$\rho = \frac{A}{A - (\rho_{\text{air}} - \rho_{\text{liquide}} + B)} \quad (8)$$

Sachant que :

« ρ » est la densité de l'échantillon.

« ρ_{air} » est la masse volumique de l'air qui est égale à 0.0012 g/cm³.

« ρ_{liquide} » est la masse volumique du liquide auxiliaire utilisé.

« A » est le poids de l'échantillon dans l'air.

« B » est le poids de l'échantillon dans le liquide auxiliaire.

III-3-5-Test de mesure MFI

Afin d'étudier le comportement rhéologiques des géo-membranes étudiées, des mesures de l'indice de fluidité des échantillons prélevés ont été faites à l'aide d'un appareil de type BMF-001 suivant la norme ISO 1133. L'appareil en question montré sur la **Figure III.6**, est constitué principalement d'un cylindre de longueur 9,48 mm et d'une filière d'un diamètre de 0,4 MM. La matière est introduite à l'intérieur du cylindre à une $T=190^{\circ}\text{C}$ pour le PE et 230 pour le TPO jusqu'à sa fusion totale. Ensuite une charge de 2,16kg et 21,6 kg, est placée sur un piston mobile et la masse qui s'écoule pendant un temps «t» est mesurée. Au minimum 5 coupes ont été réalisées pour chaque prélèvement la masse correspondante est notée «m».

L'indice de fluidité à chaud en masse (MFI), exprimé en grammes par 10 min, est donné par l'équation suivant, et la moyenne est prise sur les 5 tests

$$(g \ 10 \ min) = 600 \times m / t \quad (6)$$

Où :

« 600 » : est le facteur utilisé pour convertir les grammes par seconde en grammes par 10 min (600 s).

« m » : est la masse moyenne des extrudât, en grammes.

« t » : est l'intervalle entre deux coupes, en secondes.

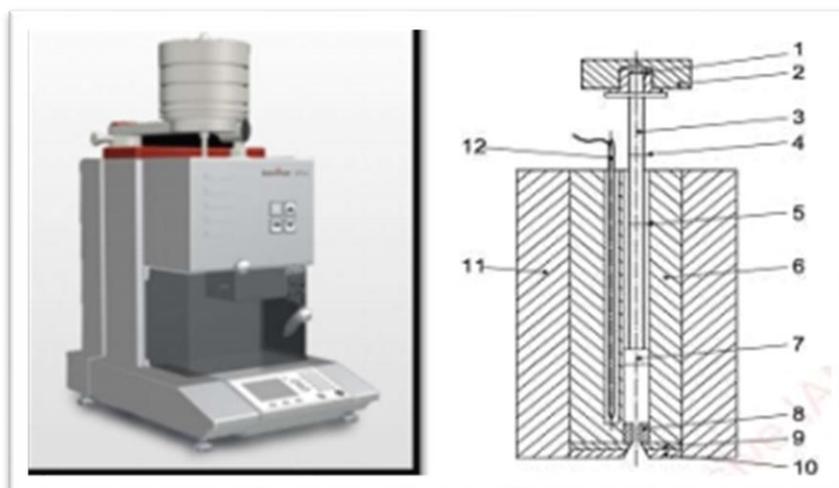


Figure III.6. Vue D'ensemble De L'appareil De Mesure de l'IF.

- 01- Isolant thermique
- 02- Poids amovible.
- 03- Piston.
- 04- Repère supérieur.
- 05- Repère inférieur
- 06- Cylindre.
- 07- Tête du piston.
- 08- Filière.
- 09- Plaque soutenant la filière.
- 10- Plaque isolante.
- 11- Isolant thermique.
- 12- Capteur de température.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre (IV) on va effectuer une comparaison entre les propriétés des différentes formulations de géo-membranes polyéthylène ainsi que celle en thermoplastique oléfine (TPO). Nous avons examinées les propriétés mécaniques en traction et la perforation, les propriétés rhéologiques grâce à la mesure de l'indice de fluidité, la densité et la dureté shore D.

IV-1 PROPRIETIES MECANIQUES

IV-1-1 Allure Des Courbes De Traction

La **Figure.IV.1-a et b** représente l'Allure des courbes de traction des échantillons de GMs à base d'une matrice PE ou de TPO.

Les courbes contrainte-déformation enregistrées présentent la même allure pour toutes les formulations de GMs PE étudiées. Cette même allure indique un mécanisme de déformation similaire quel que soit le master batch mélangé, est typique pour un thermoplastique tel que le polyéthylène, suivant les deux sens étudiés. Contrairement à ça, la GM à base de TPO se comporte différemment et présente un mécanisme de déformation distinct de celui du PE [55.56.57].

Sur la courbe contrainte déformation représentative des GMs PE, on peut distinguer plusieurs zones :

Une première zone allant du point d'application de la contrainte jusqu'au seuil, montre une évolution linéaire de la contrainte en fonction de la déformation. Cette évolution obéit à la loi de Hooke et indique un comportement élastique réversible des différentes GMs PE. Au cours de cette étape les chaînes macromoléculaires du polyéthylène dans la phase amorphe des GMs se déforment et s'allongent. Avant d'atteindre le point seuil haut, des effets viscoélastiques interviennent ce qui induit à une déviation de la linéarité de la loi de Hooke [55.56.57].

Une diminution de la contrainte appliquée en fonction de la déformation est ensuite enregistrée, indiquant ainsi le début d'une seconde zone de déformation, sur la courbe contrainte-déformation. Cette diminution de la contrainte traduit le démarrage du

phénomène de striction. Celui-ci indique le début d'une déformation hétérogène des GMs due à une distribution non uniforme de la contrainte. Cette déformation s'amorce sur un défaut existant sur l'éprouvette des échantillons des GMs testées. Le défaut en question peut être de différentes natures : une dislocation, une structure en bloc, des frontières inter-cristallines dans le cristal, des structures globulaires ou fibrillaires ou encore des couches amorphes dans les polymères. La déformation se poursuit dans cette zone jusqu'au point de stabilisation de la striction [58.59].

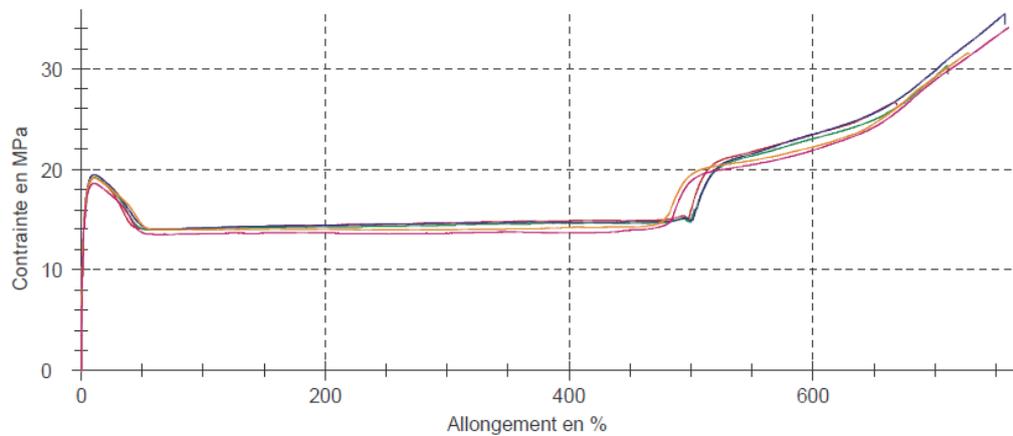
Une fois la striction est stabilisée, on entame une troisième zone qui annonce la propagation de la striction stable le long de la partie déformable des échantillons. Cette phase se traduit par une application d'une contrainte quasi-constante à l'échantillon le long de son taux de déformation naturel [59].

A la fin du pallier précédent, commence une dernière étape qui s'achève au point de rupture des échantillons des GMs. Au cours de cette étape, la contrainte supportée par les échantillons augmente en fonction de la déformation qui redevient homogène. On assiste au phénomène d'écrouissage. Les chaînes macromoléculaires s'orientent dans le sens de l'étirement provoquant ainsi une formation d'une fraction fibrillaire ce qui cause un durcissement structural de la GMs et par conséquent une résistance plus importante à l'effort appliqué [59].

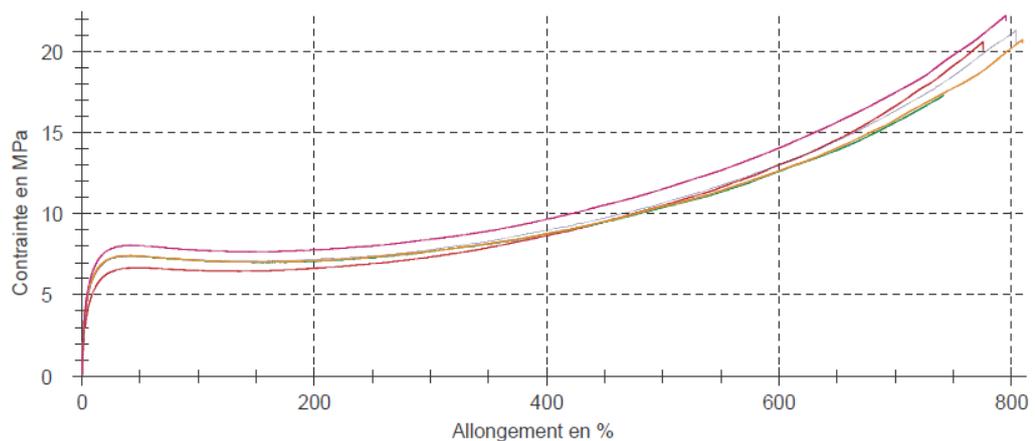
Sur la courbe contrainte-déformation enregistré sur l'échantillon de GMs TPO, nous observons, pratiquement, deux zones :

Une première zone presque identique à celle enregistré sur les GMs PE, sauf qu'elle ne présente aucun seuil d'écoulement. Elle reflète aussi une évolution linéaire de la contrainte en fonction de la déformation, obéissant à la loi de Hooke et indiquant un comportement élastique réversible de la GM TPO. Au cours de cette étape les chaînes macromoléculaires de la matrice polyoléfine et caoutchouteuse contenu dans la GM TPO, et se trouvant dans la partie amorphe se déforment et s'allongent.

Une deuxième zone de déformation pour la GM TPO caractérisée par une augmentation progressive de la déformation avec la contrainte appliquée jusqu'au point de rupture. Pour cette zone, les chaînes macromoléculaires des matrices contenues dans le TPO, en particulier celle de l'élastomère, se glissent dans la direction de sollicitation et s'orientent au fur et mesure que la contrainte s'applique. La déformation de cette GM peut dépendre de la longueur des chaînes entre nœud, de la densité de réticulation de l'élastomère utilisé ainsi que de l'enchevêtrement des chaînes macromoléculaires [59].



(a)



(b)

Fig.IV.1. Allures des courbes de traction des formulations de GMs en a)-PE, b)-TPO.

IV-1-1-1 Evaluation Du Module De Young

Le **tableau IV-1** regroupe les valeurs du Module d'Young obtenues, pour le sens longitudinal et transversal, sur des échantillons de géo-membranes PE comportant des masters batch, respectivement, SCHULMAN, CABOT et AMPACET, de 1.5 mm d'épaisseur, plus la géo-membrane thermoplastique oléfine (TPO) de même épaisseur.

Tableau IV-1 : l'évolution du Module d'Young en traction de la géo-membrane en PEHD et TPO.

		Formulation avec le master batch			TPO
		Schulman	Cabot	Ampacet	
Module de Young (MPa)	Sens transversal	626	557	769,06	79,6
	Ecart	118,95	94,70	530,71	19,81
	Sens longitudinal	747	892	911	162
	Ecart	228,06	269,89	211,69	38,25

A partir du **tableau IV-1**, on observe d'un côté que les valeurs du module de Young enregistré pour les GMs PE sont plus importantes que celle de la GM TPO, indépendamment du sens étudié. Cependant la GM PE à base du master batch Ampacet enregistre la plus importante valeur par rapport aux deux autres formulations pour les deux sens. Ceci indique une meilleure rigidité de la GM PE-Ampacet par rapport aux différentes autres formulations en particulier la GM-TPO qui paraît très ductile.

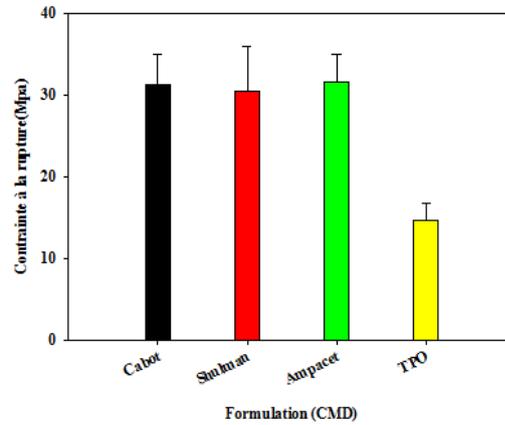
D'un autre côté, les résultats ont aussi montré que les valeurs des modules d'Young des quatre formulations sont plus importantes, et ceci pour le sens longitudinal que transversal. Ceci peut être expliqué par l'orientation des chaînes macromoléculaires selon la direction de la machine lors de la phase de transformation.

IV-1-1-2 Contrainte et Allongement à La Rupture

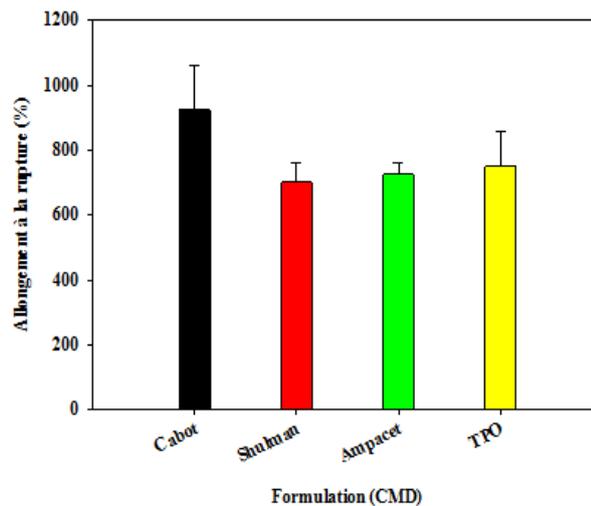
La **Figure. IV-2 a-** et **b-** illustre l'évolution, respectivement, de la contrainte et de l'allongement à la rupture des échantillons pris dans le sens transversale.

Les résultats de la **figure IV-2-a** montrent que les valeurs de la contrainte à la rupture des échantillons de GMs PE sont, pratiquement, identiques et tourne autour de 32 MPa. Par ailleurs, la valeur de la contrainte à la rupture de la GM TPO est plus faible, puisqu'elle présente une faible rigidité donc une ductilité plus importante.

En parallèle, on observe sur la **figure IV-2- b**, que la GM PE-Cabot présente un allongement à la rupture un peu plus important que les trois autres formulations, y compris celle en TPO.



(a)



(b)

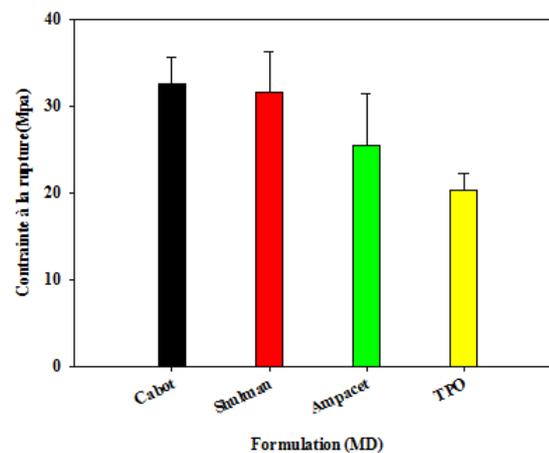
Fig.IV.2. Evolution de la: **a-** contrainte et **b-** allongement à la rupture de la géomembrane PE et TPO découpées dans le sens transversal.

Sur la figure **IV.3-a** et **IV.3-b** est illustrée l'évolution de la contrainte et de l'allongement à la rupture des échantillons pris dans le sens longitudinal.

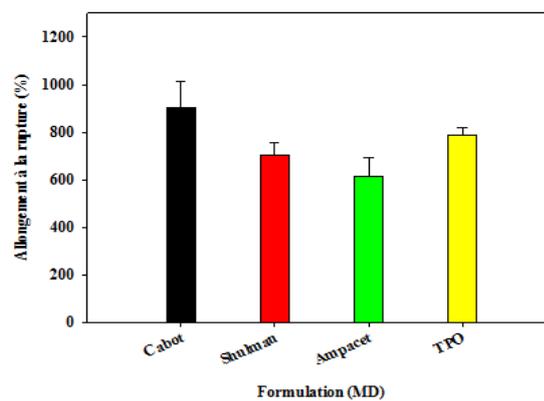
D'après ces résultats, on a enregistré des valeurs de la contrainte à la rupture plus importantes pour les GM PE-Cabot et PE-Schulman. Une plus faible valeur est enregistrée pour la GM TPO. Ceci montre une résistance en traction, aussi dans le sens

machinal que longitudinal, plus faible pour la GM TPO alors que celles en PE, entre autre à base du Cabot, est plus résistante en traction.

En parallèle, les résultats obtenus sur l'allongement à la rupture ont montré de faibles valeurs pour la GM PE-Ampacet et Shulman, par contre la GM PE-Cabot présente un allongement plus important. Ceci peut être dû à la composition de chaque géo-membrane. En effet la matrice poly-éthylénique est la même pour les trois formulations de GM-PE par contre le master batch n'est pas identique. Ce dernier comporte une matrice vectrice différente pour chaque mélange maître. L'une contient un polyéthylène basse densité linéaire (Ampacet) et les autres PEs non identifiés. Pour le TPO il présente un allongement aussi important par rapport à l'Ampacet et le Shulman.



(a)



(b)

Fig. IV.3. Évolution de la: a- contrainte et b- allongement à la rupture de la géo-membrane PE et TPO découpée dans le sens longitudinal.

Le **tableau.IV.2** résume les propriétés mécaniques en traction, des différentes formulations, pour les échantillons découpés dans le sens machinal ou longitudinal.

Comme on peut le constater à partir de ces résultats, les propriétés de rupture des GMs PE à base de mélange maître Shulman et Cabot ne sont pas affecté par le sens d'application de la contrainte, alors que celle à base d'Ampacet et celle en TPO le sont largement. En effet, la GM PE Ampacet présente une meilleure contrainte et allongement à la rupture dans le sens transversal alors que la GM TPO enregistre de meilleure valeur dans le sens longitudinal. Ceci peut être expliqué par la nature des matrices qui s'oriente préférentiellement dans ce sens affectant ainsi la résistance de la GM.

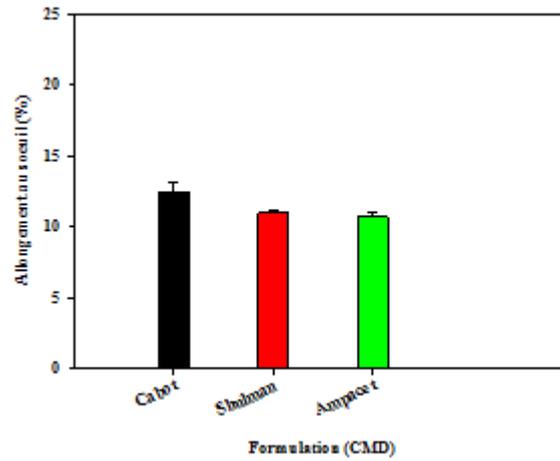
Tableau IV-2 : comparaison entre la contrainte et l'allongement à la rupture dans le sens transversal et longitudinal.

Sens	Contrainte à la rupture(MPa)		Allongement à la rupture (%)	
	T	L	T	L
Ampacet	31.6	25.5	724.94	616.10
Shulman	30.5	31.6	700.56	704.74
Cabot	31.4	32.6	923.54	904.53
TPO	16.4	20.4	750	790

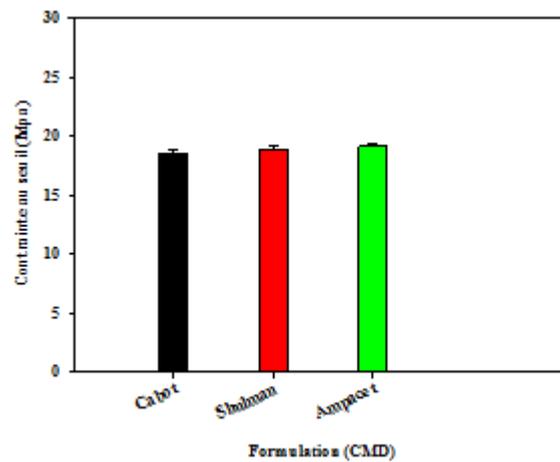
IV-1-1-3 Contrainte et Allongement au seuil

La figure **IV.4-a** et **IV.4-b** enregistre, respectivement, l'allongement et contrainte au seuil, de la géo-membrane PE et TPO, dans le sens transversal.

Les valeurs de la contrainte au seuil d'écoulement et de l'allongement sont quasiment identiques pour toutes les formulations de géo-membranes à base des divers mélanges maître Cabot, Shulman et Ampacet. Le comportement au seuil d'écoulement est le même pour les GMs. Par contre, on a remarqué l'absence du seuil d'écoulement pour la géo-membrane TPO. En effet, ceci est cohérent pour une matrice avec un comportement viscoélastique et caoutchouteux. Ce qui est le cas du TPO qui comporte une fraction du polymère éthylène –propylène diène (EPDM).



(a)

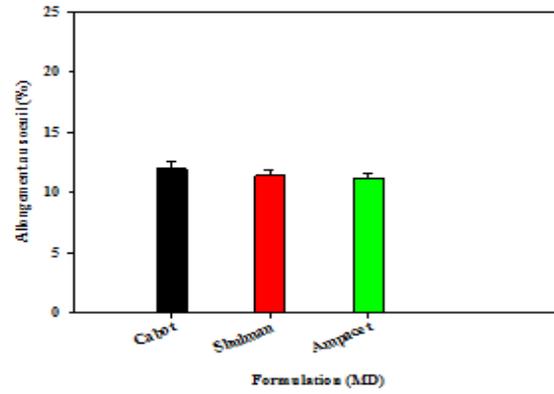


(b)

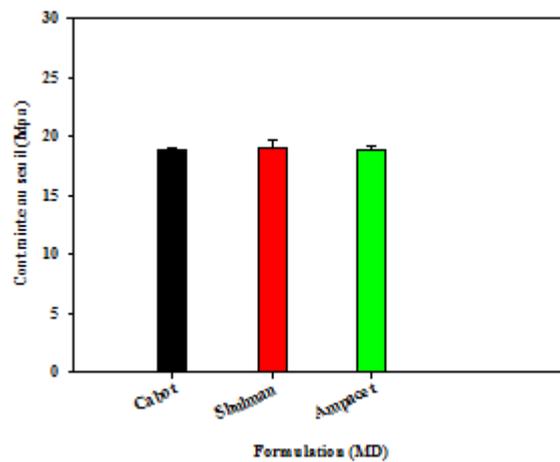
Fig. IV.4. Évolution de a- l'allongement au seuil b-contrainte au seuil de la géo-membrane PE et TPO dans le sens transversal.

La **figure IV.5-a** et **IV.5-b** enregistre, respectivement, l'allongement et contrainte au seuil, de la géo-membrane PE et TPO, dans le sens longitudinal.

Les valeurs sont aussi identiques. Et encore pas de seuil enregistré sur la courbe relative à la GM- TPO.



(c)



(d)

Fig. IV.5. Évolution de : c- allongement et d- contrainte au seuil d'écoulement de PEHD et TPO dans le sens longitudinal.

Le **tableau IV-3** montre que les valeurs de contrainte et allongement au seuil ne sont pas dépendants par le sens (longitudinal ou transversal), mais elles sont effectuées par le comportement et la nature des matériaux.

Tableau IV-3 : comparaison entre la contrainte et l'allongement au seuil dans le sens transversal et longitudinal

Sens	Contrainte au seuil (MPa)		Allongement au seuil (%)	
	T	L	T	L
Ampacet	19.1	18.9	10.7	11.2
Shulman	18.8	19	11	11.4
Cabot	18.5	18.3	12.5	12
TPO	/	/	/	/

IV-1-2 Essais De Poinçonnement PIN

La **figure IV.6** présente les valeurs de la force de perforation PIN, des échantillons de GMs –PE avec divers mélange maître et GM-TPO.

A partir de cette figure, on observe d'un côté que les valeurs du PIN sont plus importantes pour les GMs PE que pour la GM TPO. Ceci indique une résistance à la perforation des géo-membranes PEs meilleure que la géo-membrane TPO.

D'un autre côté, la géo-membrane PE qui contient le master batch Ampacet est la plus résistante à la perforation avec une force maximale de plus de 580 N, suivie par celle qui contient le Shulman puis le Cabot qui affiche une force pratiquement de 550 N. Une meilleure résistance à la perforation est due à une bonne rigidité de la géo-membrane. Cette dernière est, notamment, affecté par la cristallinité de la matrice polymère en phase continue et aussi de la charge additionnée en phase discontinue, dans notre cas sous forme de master batch dont la matrice vectrice, également, a un effet dans chaque cas.

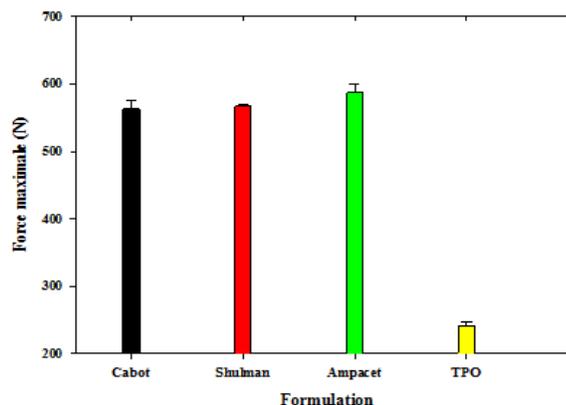


Fig. IV.6. Évolution d'une PIN des GMs PEHD en différentes formulations et la TPO.

LA **figure IV.7**, présente la déformation maximale accompagnant la contrainte de perforation maximale des GMs étudiées.

Comme on peut le constaté à travers ces résultats, la GM TPO présente une déformation maximale un peu plus importante que celles des autres formulations de géo-membranes PE. Cependant, la déformation n'est pas très prononcée malgré la viscoélasticité plus importante du TPO.

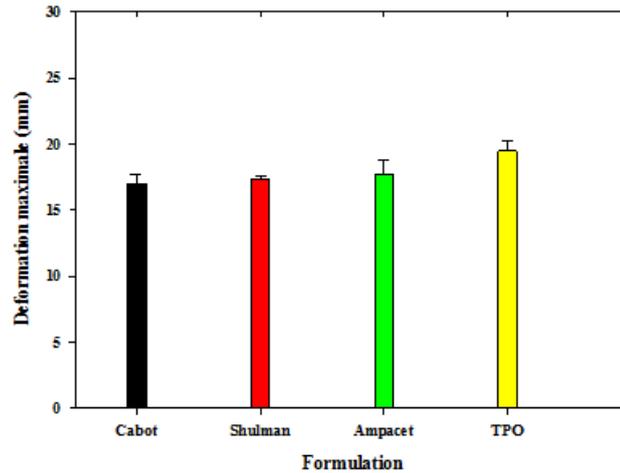


Fig. IV.7. Évolution du PIN et de la déformation De PEHD de différentes formulation et la TPO.

IV-1-3 la Dureté Shore

Le **tableau IV-4** présente les valeurs de la dureté shore D des différentes formulations de géo-membranes étudiées.

Tableau IV-4 : Valeurs de la dureté shore D enregistré sur les GMs.

Formulation	Cabot	Shulman	Ampacet	TPO
Dureté shore D	54.44	54.58	54.61	30.71
Ecart	0.80	1.19	0.75	1.8

Les résultats montrent que les 3 formulations de GM PE à base d'un mélange maître de Shulman, Cabot et Ampacet ont presque une même valeur de la dureté par rapport à la GM TPO. Toutefois, la présence de différents masters batch n'affecte pas la dureté de la GM.

On déduit d'une part que les masters batch sont dispersés d'une manière similaire dans la GM. Et d'autre part, ces GMs sont plus dures que le TPO. Ceci est bien sûr dû à la présence d'une matrice plus rigide dans les GMs PE que pour la GM TPO où on y trouve une fraction caoutchouteuse de faible rigidité.

IV-1-4 Densité

Le **tableau IV.5** présente les valeurs de la densité des différentes formulations de géo-membranes étudiées.

Les formulations Shulman, Cabot et Ampacet présentent une densité qui se situe entre **0,944** et **0,947** g/cm³, et **0.89** g/cm³ pour la TPO.

A partir de ces valeurs, on remarque que la densité des géo-membranes à base de PE est supérieure à celle de la GM TPO.

Cette différence dans les valeurs de la densité est due aux distinctions existantes dans la structure cristalline et amorphe. Le PEHD a une structure semi-cristalline avec des taux de cristallinité élevé (jusqu'à 90%) alors que le TPO présente une structure majoritairement amorphe avec un taux de cristallinité très faible avoisinant les 10%, ce qui explique la faible densité de la GM TPO.

Tableau IV-5 : Les Valeurs De La Densité.

Formulation	Cabot	Shulman	Ampacet	TPO
Densité g/cm³	0.947	0.946	0.944	0.89

IV-2 ANALYSE RHEOLOGIQUE

IV-2-1 L'indice De Fluidité En Masse (IF)

L'indice de fluidité (IF ou MFI) est le test le plus couramment utilisé dans l'industrie des polymères et parfois la seule information rhéologique utilisée.

Le test MFI est réalisé sous des conditions de température égale à 190 °C pour les GMs PE et 230 °C pour la GM TPO. Les Résultats obtenus sont présentés dans le **tableau IV-6**.

Tableau IV-6 : Variation De l'indice De Fluidité Des Géo-membranes étudiées.

Formulation	Ampacet	Cabot	Shulman	TPO
2.16 (kg)	0.14 ±	0.14 ±	0.12 ±	0.31
Ecart	0.0005	0.0001	0.0014	0.0016
21.06 (kg)	5.96	14.08	13.17	34.67
Ecart	0.0020	0.0032	0.0041	0.0413
(21.6/2.16)	42.57	100.57	109.75	111.83

D'après les résultats enregistrés, nous constatons clairement que le TPO présente une valeur plus élevée par rapport aux autres formulations qui ont montré, approximativement, la même valeur. Ceci indique une grande mobilité des chaînes

induisant à une faible viscosité du TPO contrairement aux autres. Ceci peut être expliqué dans ce cas par la présence de chaînes macromoléculaires courtes et à faible poids moléculaire, qui sont à l'origine de la diminution de la viscosité du TPO.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons étudié les propriétés mécaniques en traction, la force de poinçonnement, la fluidité, densité ainsi que la dureté de géo-membranes industrielles, entre autres, poly-éthylénique à divers mélange maitre et thermoplastique oléfines.

Les tests de traction mécanique ont montré :

- D'une part, la même allure des courbes contrainte déformation, pour les géo-membranes PE à divers mélange maitre, qu'ils soient sollicités dans le sens longitudinal ou transversal, contrairement à celle enregistré sur les courbes TPO. Les allures sont typiques de matériau viscoélastique, dur et résistant dans le premier cas et élastomère dans le second

- D'autre part, les propriétés à la rupture sont pas affecté par l'orientation de la sollicitation pour le Cabot et Shulman alors qu'elles sont meilleures dans le sens transversal que longitudinal pour le mélange maitre Ampacet. Par contre, pour la GM TPO, le sens longitudinal est plus déterminant.

Pour les propriétés au seuil d'écoulement, elles sont indépendantes de l'orientation pour les divers mélanges maitres.

Importante rigidité des diverses géo-membranes PE et TPO dans le sens longitudinale que transversale, en particulier lors d'utilisation d'Ampacet.

- La GM-PE- Ampacet est la plus résistante aussi à la perforation hors que la GM TPO présente une faible résistance.

- La dureté des trois GMs PE est de même ordre et meilleure que celle de la GM-TPO.

- La densité des trois GMs PE est de même ordre aussi et meilleure que celle de la GM-TPO.

- Le test MFI a montré que les GMs-PE sont plus visqueuses que la GM-TPO.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **J.P.GIROUD**; « Introduction aux Géo-membranes», techniques de l'ingénieur l'éditeur technique et scientifique de référence.
- [2] **JOHN SCHEIRS** ; « A Guide to Polymeric Geomembranes» Edith vale , Australia This edition first published 2009
- [3] **S.LAMBERT** ; «Les géo-membranes Ingénieries eau-agriculture-territoires », Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, 1997, p. 27 - p. 40. fihal-00461031.
- [4] **F.Z.HASSANI & M. KEBAILI** ; « Diverses utilisations des GMB quelques applications dans les régions arides» ; université de Ouargla.10/03/2016.
- [5] **A.ROLLIN and J-M.RIGO**; « Geomembranes Identification and Performance Testing»
- [6] **SADOUNE SOFIANE** ; « contribution à l'étude expérimentale d'un polyéthylène a haute densité (PEHD) –effet de la température et de la vitesse de déformation» mémoire master professionnel université Badji Mokhtar –Annaba, soutenu en 2007.
- [7]**NATHALIE TOUZE-FOLTZ** ; « Les géo-synthétiques, itinéraire d'une recherche partagée Dans Sciences Eaux & Territoires» 2016/1 (Numéro 18), PAGE13.
- [8] **COMITE FRANÇAIS DES GEOSYNTHETIQUES**; «Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géo-membranes» ÉDITION DE 2017.
- [9] **Généralité sur les matériaux composite** <http://thesis.univ-biskra.dz/1136/3/CHAPITRE%20I.pdf>
- [10] **J. P. TROTIGNON, J. VERDU, A .DOBACZYNSKI & M.PIPERAUD**; « Précis des Matières Plastiques» ; Paris: Nathan. (2002).
- [11] **CORNELIA VASILE ET MIHAELA PASCU**; « Practical Guide to Polyethylene» ©2005 RAPRA Technology Limited
- [12] **le PVC : Histoire et applications industrielles** <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-pvc---histoire-et-applications-industrielles-1170.htm>
- [13] **AMROUS SABRINA et AKLIL MERIEM** ; « Elaboration et caractérisation des géo-membranes à base des polymères recyclés, pour la protection des borbiers de forage

Références Bibliographiques

pétroliers» Mémoire Master professionnel Université de M'Hamed Bougera –Boumerdes, Soutenu Le : 2015-2016.

[14]RENAUD BENCHET, CLAUDE HERISSON, FLORENT GERBAUD ,DIDIER CROISSANT et STAPHANE GRIVAUD ; «étude sur la durabilité des géo-membranes en bitume élastomère exposées sur site depuis 6 à 30 ans» France 2011.

[15]PVC et environnement : <https://www.encyclo-ecolo.com/>

[16]L DJOUDI; «CHAPITRE II dégradation et stabilisation des polymères» université de Biskra 2007.

[17] DGS FABRICS :<https://www.dgsfabrics.com/cspe>

[18] ITHRI SABER et ILYES TEKLAL; «Caractérisation d'une Géo-membrane Soudée Utiliser pour l'Etanchéité d'une Station d'Epuration des Eaux Usées Mémoire de Fin d'Etudes Université» Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou 2017.

[19] M. AGHILES BELLABIOD et M. BELKACEM HADJ-ALI ; «Caractérisation de la Géo-membrane PEHD: Application à l'étanchéité d'un bassin d'une station d'épuration des eaux usées» mémoire de master université de Tizi Ouzou 2016 /2017.

[20]Revêtement d'enfouissement landfill liner : [https://fr.qwe.wiki/wiki/Landfill_liner.](https://fr.qwe.wiki/wiki/Landfill_liner)

[21] A.SCUERO et G.VASCHETI « dispositif d'étanchéité par géo-membranes pour les barrages » Nathalie Schauner2010.

[22] T.S.INGOLD « the geotextiles and geomembranes manual » Elsevier science .1994.

[23] ABBADI TELDJA et HOUAMED Nacir ; «Étude du vieillissement thermo-oxxydatif de la Géo-membrane PE» mémoire de master université de bordj Bou Arreridj 2017/2018

[24]CARLOTA PON ;«Durabilité des géo-membranes en polyéthylène haute densité utilisées dans les installations de stockage de déchets non dangereux » Université Paris-Est, 2012. Français.

[25]AMAZOUZ Laila; «Etude comparative des propriétés de deux polymères (PEHD et PEBD) et de leur mélange» mémoire de diplôme université de Bouira 2018membre PE» mémoire de master .université de Bordj Bou Arreridj 2017 /2018

Références Bibliographiques

- [26] SANA ABDALBASET ; «effet de la régénération d'un polyéthylène sur les propriétés physico-chimiques des tubes plastiques PEHD» mémoire master Blida 2015
- [27]VINCENT CHAFFRAIX ; «étude de l'extrusion du polyéthylène téréphtalate et de mélange non compatibilités avec le polyéthylène haut densité» thèse doctorat paris 16décembre 2002
- [28] SACI HOURIA : «préparation et caractérisation thermique du polyéthylène basse densité modifié par réticulation» : thèse de doctorat université de Sétif 2017
- [29] OMNEXUS : «Polyéthylène <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-plastic#HDPE>
- [30]Fabienne FARCAS (IFSTTAR) et Nathalie TOUZE-FOLTZ (Irstea) «Durabilité des Géo-synthétiques dans les installations de stockage des » déchets RAPPORT FINAL Décembre 2009 – Mars 2013
- [31]SAKHRAOUI MERIEM ; «Fabrication de tubes en Poly Chlorure de Vinyle (PVC et en Polyéthylène Haute Densité (PEHD)»rapport de soutenance. Université de Bouira 2018 /2019
- [32]CHAPTER1Geomembranes:
[EPA_QAQCforWasteContainmentFacilitiesCH3.pdf](#)
- [33]ATMANIABDRAOUF ; «comportement mécanique en traction monotone d'un polymère associé au carbonate de calcium (PEHD 5502/CaCO3) » université de Annaba 2016 2017
- [34] DENNIS.B. MALPASS; «introduction to industrial polyethylene properties, catalysts, processes»:
- [35] PHILLIPE MARCHEL; «propriétés polyéthylènes basse densité PEBD et PEBDL» :article10 juillet 2011
- [36] CHALAL SID ALI ; «étude des propretés mécaniques d'un n composite PEBD à base d'une charge en céramique modifiée »; .mémoire de master .université de Boumerdes 2017
- [37]LDPE Geomembrane, Convenient and Fast construction<https://www.geotextile-fabrics.com/products/geomembrane/ldpe-geomembrane.html>
- [38]YAHIAOUI Karim ; « Etude expérimentale du comportement d'une membrane en élastomère soumise à une pression interne» ; mémoire de master université de Bejaia 2013/2014

Références Bibliographiques

- [39] **MEDJDOUB Nouredine** ; «Etude des mélanges et des composites à base du système PLA/ (PEBD-PEBD-L): Caractérisations morphologique et thermorhéologique et Etude de la biodégradation »; thèse de doctorat université de Sétif 2017
- [40] **ANDREW J. PEACOCK**; «handbook of poly ethylene structures; proprietary; and application»; Marsel Dekker INC New York 2000.
- [41] **KHALDOUNE Fouad et Salmi Mourad** ;«Simulation numérique d'écoulements tridimensionnels non-isothermes de fluide non-newtonien : application mise en forme des Polymères» 'mémoire de fin d'étude ,université de M'sila , 2018/2019
- [42] **Antioxidant depletion from HDPE and LLDPE geomembranes without hals in an extremely low PH solution**https://www.researchgate.net/publication/266901759_Antioxidant_depletion_from_HDPE_and_LLDPE_geomembranes_without_HALS_in_and_extremely_low_pH_solution
- [43] **MARC CARREGA** ; «matière plastique » ; aide-mémoire 2ème édition Dunod 2007.
- [44] **Thermoplastic Polyolefin (TPO)**:<https://www.rtpcompany.com/products/product-guide/thermoplastic-polyolefin-tpo/>
- [45] **Polyoléfine thermoplastique (TPO)** : «Élastomère thermoplastique »:
<https://www.habasit.com/fr/index.htm>
- [46] **DURO TOIT** :<https://www.lescouvreurdurotoit.com/tpo-vs-membrane-elastomere-quoi-choisir/>
- [47] **CONSTRUCTION RENOVATION** ; « découvrir la membrane TPO»
<https://www.constructionrenovation.com/membrane-tpo/>
- [48] **Géo-membrane TPO**: <https://www.hellopro.fr/fa/geomembrane-tpo-5449.html>
- [49] **AURORA plastics** : TPO Oléfines thermoplastiques
<https://auroraplastics.com/fr/materials/tpo-custom-thermoplastic-olefins/>.
- [50] **EURODROP** : La couverture synthétique étanchéité du futur
[.http://www.europdrop.eu/fr/portfolio-a/polyolefine-thermoplastique-tpo/](http://www.europdrop.eu/fr/portfolio-a/polyolefine-thermoplastique-tpo/)
- [51] **MOHSINE HASSAR**. «Influence des nano-charges de noir de carbone sur le comportement mécanique de matériaux composites: application au blindage électromagnétique». Autre. Université de Technologie de Compiègne, 2013.

Références Bibliographiques

- [52] **N. BONNARD, D. JARGOT, S. MIRAVAL, F. ROOS, O. SCHNEIDER** Noir de carbone - Edition : 2007. [file:///C:/Users/hp/Downloads/FicheTox_264%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/FicheTox_264%20(7).pdf).
- [53] **RALPH M. PAROLI KAREN K.Y. LIU** et **TORRANCE R. SIMMONS** ; Membranes de couverture en polyoléfine thermoplastique article ; 1999.
- [54] **JIRI GEORGE DROBNY**; « handbook of thermoplastic elastomers ».
- [55] **H.H. kausch, et al**; « Crazing in semi-crystalline thermoplastics», journal of macromolecular science, part b-physics, 1999, b38 (5-6), p. 803-815
- [56] **A. Peter lin**: « Molecular model of drawing polyethylene and polypropylene», journal of materials science, **1971b**, 6(6), p. 490-508.
- [57] **Yuryv. Kissin** «Polyethylene end use properties and their physical meaning», hander publication, Germany, 2013, e-book-is bn 978-1-56990-521-0.
- [58]**S.N. Zhurkov and v.s. Kuksenko**,«The micromechanics of polymer fracture», international journal of fracture, **1975**, 11(4), p. 629-639.
- [59]**Q. Fu, y. Men, and G. Strobl**, «A molar mass induced transition in the yielding properties of linear polyethylene, polymer», **2003**, 44(6), p. 1941-1947.
- [60]**Julien Cazenave**, « Thèse de doctorat sur le compromis rigidité/durabilité du polyéthylène haute densité en relation avec la structure de chaîne, la microstructure et la topologie moléculaire issues de la cristallisation. », institut national des sciences appliquées de Lyon, **2005**.
- [61] chapitre I : bibliographique http://csidoc.insa-lyon.fr/these/2004/ramier/05_chapitre1.pdf
- [62]**Dioxyde de Titane**<https://www.anses.fr/fr/content/dioxyde-de-titane>**ANSES**.
- [63] **AKBACHE SALAH DINNE** et **TAYEB IMADEDDINE** «L'effet du dioxyde de titane (TiO₂) sur une formulation de PVC», mémoire de master, université de Boumerdes, **2016/2017**

Résumé

Le développement de la géo-membrane et son utilisation ne cesse de se développer ces dernières années, particulièrement dans le but de préserver l'environnement.

Les géo-membrane s'inscrivent dans le cadre de l'emploi de matériaux synthétique dans le domaine de géotechnique et du génie civil. Selon le type de GMs qui on 'a déjà indiquer dans notre travail.

Notre étude est basée sur les deux types de géo-membranes poly-éthylénique (PEHD) et thermoplastique oléfines (TPO). nous avons déterminé les propriétés caractéristiques de chaque type tels que les propriétés mécaniques comme module de Young, la contrainte au seuil d'écoulement et rhéologique comme la densité et indice de fluidité .et pour cela on 'a fait quater tests qui nous aide à confirmer quelle type de géo-membrane qui accorde avec les normes.

