République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou

Faculté de Génie de la Construction

Département Génie Mécanique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

Master Académique en Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

Caractérisation d'une Géomembrane Soudée Utiliser pour l'Etanchéité d'une Station d'Epuration des Eaux Usées

Dirigé par

Ahmed SALHI

Réalisé par

Ithri SABER
Lyes TEKLAL

Membres de Jury

M. BOURAS Rachid	UMMTO	Président
M. MOUHALBI Mouloud	UMMTO	Examinateur
M. SALHI Ahmed	UMMTO	Encadreur

Soutenue le 31/10/2017

Promotion 2016-2017

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, la personne que nous tenons à remercier est notre promoteur ***Mr. SALHI Ahmed****, pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, Et tous nos camardes de l'Université MOULOUD MAMMERI du département de Génie Mécanique.

MERCI.

Sommaire

I. Introduction générale…….. 2

PARTIE I : Partie bibliographique………….

CHAPITRE I : Généralités sur les polymères

I.1. Introduction……04

I.2 . Définition……...04.

I.2.1. Polymère……...05.

I.2.2. La polymérisation……...05

I.3 Différents types de matières plastiques……06.

I.3.1 Les thermoplastiques……07

I.3. 2Le polypropylène (PP) ……..08

I.3.3 Les Polyéthylènes (PE) ……09.

I.3.4 Les polyoléfines……...09.

I.3. 5 Les thermodurcissables ……...10.

I.3.6 Les élastomères ……..11.

I.4.Les différents types des polymères……..11.

I.4.1. Homopolymères……..11.

I.4.2. Copolymères……...12.

I.5.Les propriétés des polymères……12

I.5.1.Les Propriétés chimiques des polymères ……12

I.5.2.Les Propriétés physiques des polymères ……...12.

I.5.3. Propriétés mécaniques……13

I.6.Conclusion ……13

CHAPITRE II Généralité sur les géomembranes

II.1. Introduction géomembrane ……15

II.2. Définition de la géomembrane ……..15.

II.3 Fonction et nature……15

II.4.Fabrication et matériaux de base……16

II.4.1 Fabrication ……16

II.4.2 Matériaux de base……...17.

II.5.Les différents types de géomembranes……...18.

II.5.1. le Polyéthylène (PE) ……18.

II.5.2 Structure ……19

II.5.3 Les différents types PE ……20

II.5.4 Géomembrane PEHD ……..21

II.5.5.Géomembrane PVC-P……..22

II.5.6.Géomembrane PP-F……23.

II.5.7. Géomembrane EPDM……..…26

II-6 Conclusion ……27

Chapitre III. Géneralite sur la Géomembrane Polyéthylène

III.1. Introduction géomembrane PE……29

III.2.Survol d'un cahier des charges typique d'une géomembrane de polyéthylène .. 29.

III.3. Structure moléculaire du polyéthylène (PE) : ……...29

III.4. Aspects phénoménologiques de dégradation du polyéthylène ……31

III.4.1. Résistance à la fissuration sous contrainte…….32

III.4.2. Oxydation thermique……....33

III.4.3. Photo-oxydation (résistance aux ultra-violets) ……..35.

III.5. Additifs ……38

III.6. Caractérisation Mécanique de la Géomembrane…….39

III.6.1. Eprouvettes et Conditions d'Essai …….…...40.

III.6.2. Coubes Contrainte-Déformation caractéristique……..41.

III.6.3. Résistance mécanique ……...41

III.6.4. Contrainte au seuil d'écoulement ……...42

III.6.5. Résultats, Interprétation et Conséquences ……..42.

III.7. Aspects Thermiques et Température de Transition Vitreuse ……..43.

III.7.1. Chauffage: Chaleur de fusion ……43

III.8. Conception et spécification des geomembranes de polyéthylène vis-à-vis de la du rabilité ……....43

III.9.Conclusion ……43

Chapitre IV Soudage

IV-1 Introduction ……45
IV-2 Les techniques de soudage……45
IV-3 Le soudage par fusion ……46
IV-4Le processus de soudage par élément chauffant……46.
IV.5.Spécificité des opérations de soudage PEHD……46
IV.5.1.Préparation des lés PEHD ……46
IV.5.2.Procédés et matériel de soudage ……47.
IV.5.3. Réglages des machines ……48.
IV.5.4 Assemblage et soudage des lés ……48
IV.5.5 Soudage des « pièces rapportées » ……49.
IV.6 Contrôle des soudures……49.
IV.6.1. Contrôles Non-Destructifs ……50.
IV.6.1.1.SIMPLES SOUDURES ……50.
IV.6.2 Contrôles destructifs ……51.
IV.7.Conclusion ……52.

Partie pratique

Chapitre I.1 diapositif expérimentaux et élaborations des éprouvettes

I. Introduction……54

I-1 la réalisation des échantillons…….54

I-1-1 présentation de la matière première PEHD…….54

I-1.2 Réalisation des éprouvettes de la géomembrane pehd non soudée……..54

I-1.3Réalisation des éprouvette de la géomembrane PEHD soudée avec canal central ouvert et obture …….55

I.1.3.a Préparation des éprouvettes de la géomembrane PEHD non soudée……56

I.1.3.b Préparation des éprouvettes de la géomembrane PEHD soudée ……56

I.2. Machine d'essai de traction…….57.

I. 2.1. Exécution des essais de traction…….57.

I.2.2. Principe de l'essai de traction …….58:

I.2.3 Principe de l'essai de cisaillement ……59

I.2.4 Principe de l'essai de pelage……..60

Chapitre II. Caractérisation de la géomembrane PEHD

Introduction

II-1. Caractérisation mécanique via des essais de traction uniaxiale……62.

II.2.1. Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique (θ=0º;V=10mm/mn).....…….62

II.2.2 Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique (θ=90º;V=10mm/mn). .....…….63

II.2.3 Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique (θ=90ºet θ=0º;V=10mm/mn). .....……63

II.3.Courbe contrainte déformation en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal le central ouvert.....……...64

II.3.1Courbe contrainte déformation en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme.....……..65

II.3.2.Courbe contrainte déformation en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme et ouvert. .....…….66

II.3.3 Courbe contrainte déformation, en mode pelage, a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert.....…….66.

II.3.4Courbe contrainte déformation, en mode pelage, a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme.....……..68

II.3.5Courbes contrainte-déformation en mode pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme et ouvert.....…….69

II.4.Courbe contrainte déformation en modes pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert.....…….70

II.4.1Courbe contrainte déformation en modes pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central obture.....…….71

II-5Comparaison des propriétés mécaniques usuelles entre les modes cisaillement et pelage. .....…….73

II-5.1. Sollicitation en mode cisaillement : Canal ouvert et ferme.....73.

II.5.1.a.Histogramme de module d Young E(MPA) 73

II.5.2Histogramme comparatif des contraintes de la géomembrane soudée en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) 74

II.5.2.a Contraintes au seuil d'écoulement et plastique en mode cisaillement 74

II.5.2.b.contraintes début de plasticités et fin de plasticités……74

II.5.3.Histogramme comparatif des déformations de la géomembrane soudée en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) 75

II.5.3.1.Deformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode cisaillement .....……..75

II.5.3.2.Deformations correspondant aux contraintes début de plasticités et fin de plasticités .....……...75

II-5.4. Sollicitation en mode pelage : Canal ouvert et ferme.....75.

II-5.4.a.Histogramme de module d Young E(MPA) .....76.

II.5.5.Histogramme comparatif des contraintes de la géomembrane soudée en mode pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) 77

II.5.5.aContraintes au seuil d écoulements et plastique en mode pelage……78

II.5.5.b.Contraintes début plasticités et contraintes a la rupture en mode pelage……..78

II.5.6Histogramme comparatif des déformations de la géomembrane soudée en mode pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)……...78

II.5.6.a.Deformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode pelage.....……..79

II.5.6.b Déformations correspondant aux contraintes au plateau de plasticité et rupture en mode pelage.....……..79

II.6 Histogrammes comparatifs des propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane soudée en modes combiné cisaillement et pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) .....……79

II.6.1Geomembrane soudée avec canal central ouvert 80

II.6.1.a Histogramme de module d Young E (Mapa).....81.

II.6.2.Histogramme comparatif des contraintes de la géomembrane soudée en mode combine pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) .....……...81

II.6.2.a Contraintes au seuil d'écoulement et plastique en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert.....……81.

II.6.2.bContraintes début plasticités en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert.....……82

II.6.3 Histogramme comparatif des déformations de la géomembrane soudée en mode combiné pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) .....……82

II.6.3.a Déformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert.....……..82

II.6.3.b Déformations correspondant aux contraintes début de la plasticité en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert.....……..83

II-6.4.Geomembrane soudée avec canal central obture 83

II.6.4.a Histogramme de module d Young(MPA) 83

II.6.5.Histogramme comparatif des contraintes de la géomembrane soudée en mode combine pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) 83

II.6.5.aContraintes au seuil d'écoulement et plastique en mode combine pelage et cisaillement Avec canal central obture.....84

II.6.5.b.Contraintes début plasticités en mode combine pelage et cisaillement avec canal central obture.....84

II.6.6.Histogramme comparatif des déformations de la géomembrane soudée en mode combiné pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) 84

II.6.6.aDéformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode combiné pelage et cisaillement avec canal central obture.....85.

II.6.6.bDéformations correspondant aux contraintes début de la plasticité en mode combiné pelage et cisaillement avec canal central obture..... 85

LISTE DES FIGURES

PARTIE I : Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les polymères

Figure I .1 (-CH2-CH2-) est une unité du polymère……05
Figure I.2 Les plaque de thermoplastique. ……06
Figure I.3 Quelque produit Thermoplastique. ……06
Figure I.4 composition chimique de polypropylène(PP) ……07
Figure I.5 Quelque objet fabrique par polypropylène. ……08
Figure I.6 Composition chimique de polythène(PE) ……08
Figures I.7 Quelque objets fabriques par polythène(PE) ……09
Figures I.8 Quelques objets thermodurcissables ……10
Figures I.9 Quelques objets son des élastomères. …….. 11
Figure I.10 : représentation de copolymères. ……12

Chapitre II : généralité sur les géomembranes

Figure II.1 Procédé d'extrusion gonflage. ……16
Figure II.2 Schéma illustrant le principe du calandrage. ……..17
FigureII.3 Schéma représentatif du polyéthylène. ……19

Chapitre III : généralité sur la géomembrane PE

Figure III.1. Les différentes étapes de la dégradation par thermo-oxydation du polyéthylène…….35
Figure III.2 : Distribution annuelle moyenne de la radiation solaire sur la terre (kLy); La flèche situe la position de l'Algérie ……37
Figure III.3: Température de fonctionnement de différents d'antioxydants……..39

Chapitre IV : généralité sur le soudage

Figure IV.1. Soudures de géomembrane (Guide de pose géomembranes Siplast, 2005)……..55

Figure IV.2. Vue de la machine « COMET » Utilisée pour le soudage des PEHD……. 57

Figure IV.3 Vue de la même machine pendant le soudage d un corps en PEHD……58

Figure IV.4 utilisation de la cloche à vide……. 59

Figure IV.5 Cloche à vide……...46

PARTIE II : partie expérimentale

Chapitre I ;

Figure I-1 Représentation de l'éprouvette normalisée ……55

Figure I.1 Représentation de l'éprouvette normalisée géomembrane PEhd soudée……..57

Figure I.2 Machine d'essai de traction…….58

Figure I-4. Machine à traction de type ibertest…….59

Figure I-5. Eprouvette à l'état initial……..59

Figure I-6 :Eprouvette apres traction à un taux de déformation de plus de 100% ……59

Figure I.7 éprouvette après l'essai de cisaillement ……..59

Figure I.8 éprouvette avant l'essai de cisaillement ……..60

Figure I.9 éprouvette en mode pelage Avant rupture ……..60

Figure I.10 éprouvette en mode pelage après rupture…….60

Chapitre II Caractérisation de la géomembrane PEHD

Figure II.1 Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=10 mm/min) et angle de découpe constant (θ=0°)…….63

Figure II.2Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=10 mm/min) et angle de découpe constant (θ=90°)……64
Figure II.3 Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=10 mm/min) et angle de découpe constant (θ=0°et θ=90^0)…….65
Figure II.4 courbe contrainte déformation (en mode cisaillement) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert……66
Figure II.5 courbe contrainte déformation (en mode cisaillement) de la géomembrane soudée avec canal central obture……68
Figure II.6 courbe contrainte déformation (en mode cisaillement) de la géomembrane soudée avec canal central obture et ouvert……..68
Figure II.7.courbe contrainte déformation (en mode pelage) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert…….69
Figure II.8.courbe contrainte déformation (en mode pelage) de la géomembrane soudée avec canal central obturé……..70
Figure II.9 courbe contrainte déformation (en mode pelage) de la géomembrane soudée avec canal central obture et ouvert……..71
Figure II.10 courbe contrainte déformation d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert…….…….72
Figure II.11 courbe contrainte déformation d'une géomembrane soudée avec canal central obture……..72

Figure II.12 histogramme de module d Young en mode cisaillement avec canal central ouvert et obture……..72
FigureII.13 histogramme des contraintes au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture……..73
FigureII.14 histogramme des contraintes plastiques d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….73
Figure II.15 histogramme des contraintes au début de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….….73

Figure II.16 histogramme des contraintes fin de plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….73

Figure II.17 histogramme des déformations au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture……..74
Figure II.18 histogramme des déformations plastique d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture……..74
Figure II.19. Histogramme des déformations début de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….74
Figure.II.20. Histogramme des déformations fin de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….75
FigureII.22 histogramme des contraintes au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….75

Figure II.23 histogramme des contraintes plastiques d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture……..75

Figure II.24 histogramme des contraintes a la rupture d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture……..75
Figure II.25 histogramme des contraintes au début de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….77.
Figure II.26 histogramme des déformations au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….……77.
FigureII.27 histogramme des déformations plastique d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture……...79
FigureII.28histogramme des déformations en zone plastique d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture……..…79.
Figure II.29 histogramme des déformations a la rupture d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture…….79

Figure II.30 histogramme du module d Young en mode combine avec canal ouvert ……..….80
FigureII.31histogramme des contraintes au seuil d écoulements en mode combine avec canal ouvert……..80
FigureII.32 histogramme des contraintes plastique en mode combine avec canal ouvert…….…. 80

Figure II.33histogramme des contraintes au début de la plasticité en mode combine avec canal ouvert ……..….81
FigureII.34 histogramme des déformations au seuil d'écoulement en mode combiné avec canal ouvert …….81
FigureII.35 histogramme des déformations plastique en mode combiné avec canal ouvert ……..81
FigureII.36 histogramme des déformations au début de la plasticité en mode combiné avec canal ouvert ……82

Figure II.37 histogramme du module d Young en mode combiné avec canal ouvert ……82

FigureII.38 histogramme des contraintes au seuil d écoulements en mode combiné avec canal obture ……..…….82

FigureII.39 histogramme des contraintes plastique en mode combiné avec canal obture …….83

FigureII.40 histogramme des contraintes au début de la plasticité avec canal central obture …….83
FigureII.41 histogramme des déformations au seuil d'écoulement avec canal obture……..83.
FigureII.42 histogramme des déformations plastique avec canal obture……. …….84

Figure II.43histogramme des déformations au début de la plasticité avec canal obture ……84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1: Propriétés mécaniques des différents polyéthylènes (Hert, 1982)…….19

Tableau II-2: Classification du polyéthylène…….20

Partie pratique

Tableau I.1 fiche technique du PEHD……54

Tableau I.2 Les dimensions des éprouvettes utilisées……56

Tableau II.1 propriétés mécaniques d'une geomembrane soumis à une traction avec une vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)……..65

Tableau II.2 propriétés mécaniques de la geomembrane soudée avec canal central ouvert et obture en mode cisaillement avec une vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)…….67

Tableau II.3 propriétés mécaniques de la geomembrane soudée avec canal central ouvert et obture en mode pelage avec une vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)…….70

Introduction générale

Les parts de marché des géomembranes en polyéthylène haute densité n'a cessé d'augmenter depuis leur introduction. En effet, ces matériaux offrent un complément économique à l'étanchéité conventionnelle, en offrant une barrière d'étanchéité active disposant d'une faible variabilité intrinsèque, contrairement aux matériaux naturels. Le concept d'étanchéité synthétique, associé à une stratégie de contrôle de la qualité très serrée tant lors de la production qu'à la livraison et l'installation, a donc facilement pénétré le marché de l'étanchéité et fait maintenant partie des conceptions classiques.

Si l'utilisation de polymères dans le domaine de la construction est généralisée, les exigences de durabilité peuvent être très différentes d'une application à l'autre. Ainsi, les durées de vies requises pour des géomembranes peuvent parfois excéder des dizaines d'années. De plus, les conséquences associées à une rupture d'étanchéité peuvent être dramatiques en termes de coûts et de dommages à l'environnement, contrairement à des applications moins nobles.

Dans ce contexte, l'industrie des géomembranes s'est intéressée très tôt à la compréhension des mécanismes de dégradation du polyéthylène dans le contexte spécifique de leur application, ainsi qu'aux moyens de les contrôler. Dans le cadre de cette démarche, de nombreuses recommandations relatives à la conception d'ouvrages de confinement ont été produites et la formulation du produit a été améliorée année après année. Progressivement, les critères de contrôle de la qualité du produit fini se sont recentrés vers les mécanismes de dégradation du polyéthylène les plus pertinents pour les applications environnementales, en plus des propriétés habituellement considérées pour des applications traditionnelles de matériaux de construction.

Dans le cadre d'une contribution à ce domaine des géomembranes, nous avons été amenés à traiter la caractérisation de la géomembrane soudée utilisée dans l'étanchéité des bassins d'une station d'épuration des eaux usées qui est phase de réalisation dans la wilaya d'ILLIZI. Les échantillons de géomembrane soudée ont été prélevés de ceux déposés au niveau de CNTC de BOUMERDES avec l'autorisation de l'Entreprise CHIALI SERVICES dont le siège est à SIDI-BEL-ABBES.

Après prélèvement des échantillons et élaboration des éprouvettes soudées nous avons procédé à la caractérisation mécanique et physicochimique de ces dernières conformément à des protocoles préétablis et des normes en vigueur. Pour mieux apprécier la qualité de la géomembrane soudée nous avons découpé des éprouvettes sous différents angles pour la géomembrane témoin, à savoir, $\theta=0°$ et $\theta=90°$. Quant a la vitesse de sollicitation, elle a été choisie en tenant compte de la réalité : 10 mm/mn.

La caractérisation mécanique a pour but de déterminer les propriétés élasticoviscoplastiques caractéristiques via les courbes contraintes-déformations et le comportement au poinçonnage via un test spécifique aux géomembrane.

Quant à la caractérisation physicochimique, elle a été réalisée dans l'objectif d'évaluer la résistance de la géomembrane à la dégradation oxydative en service via la détermination de l'OIT (Oxydative Induction Time) conformément à la norme ASTM D-3895. Cette caractérisation a pour but de vérifier les aspects quantitatifs et qualitatifs des antioxydants ajoutés à la résine dans le but d'augmenter la durée de la période d'induction.

I.1. Introduction

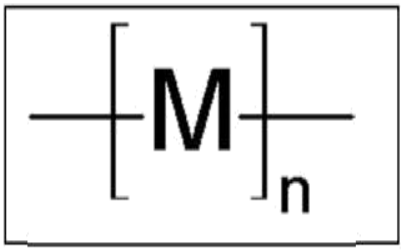
Les polymères sont des matériaux qu'on retrouve dans un grand nombre d'applications diverses et variées telles que l'emballage, le bâtiment et la construction, le transport, les équipements électriques et électroniques, l'agriculture, ainsi que dans les secteurs médical et sportif. La polyvalence des matériaux polymères est due au fait que les propriétés physico-chimiques des polymères peuvent être adaptées par un ajustement minutieux de la composition et de la distribution de poids moléculaire des molécules constituant le polymère.

I.2. Définition [01] :

I.2.1. Polymère

Polymère est un mot qui vient de grec <<pollu>>plusieurs et<<meros>>partie. Un polymère, est défini comme étant une molécule à très longue chaine qu'on appelle macromolécule pouvant être de type organique ou inorganique.

Elle est formée par la répétition d'entités chimique simples appelées monomères (motifs monomères) reliées par des liaisons chimiques covalentes. Leur masse molaire est très élevée et souvent supérieure à 10 000 g/mol.



M : motif monomère (motif de répétition).

n ou (X) : degré de polymérisation ; nombre de fois que l'on rencontre M dans la molécule.

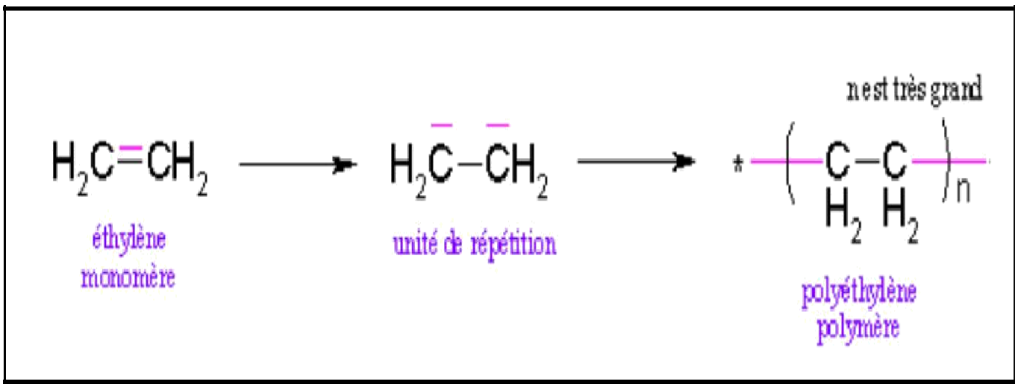


Figure I .1 : (-CH2-CH2-) est une unité du polymère.

I.2.2. La polymérisation [02].

La polymérisation est la réaction qui, à partir des monomères, forme en les liants des composés de masse moléculaire plus élevée, les polymères ou macromolécules. Les noyaux des monomères sont le plus souvent constitués d'un atome de carbone (molécules organiques) ou d'un atome de silicium (polymères siliconés). On distingue les homopolymères les Copolymères. Ils sont classés en deux catégories: les thermoplastiques et les thermodurcissables.

Existe essentiellement deux types de réactions de polymérisation qui se différencient par leur cinétique réactionnelle :

- La polymérisation polyaddition : C'est la polymérisation en chaine dans laquelle les unités monomères sont additionnées une à une centre actif.

- La polymérisation polycondensation : fournissent un ensemble de molécules dotées de propriété nouvelles et à grande valeur ajoutée : matériaux à haute résistance thermique ou chimique, fibres à haute ténacité, mousses rigides à porosité contrôlée, etc.

La réaction de polymérisations est en général aléatoire, de sorte que toutes les chaines d'un polymère n'ont pas la même longueur. Une chaine polymère est caractérisée par son degré de polymérisation, qui est le nombre de motifs monomères qui la constitue, et par sa masse molaire, qui est le produit de la masse molaire d'un motif par le nombre de motifs.

I.3 Différents types de matières plastiques [03] :

En fonction de leurs propriétés, les polymères sont divisés en trois classes :

Les thermoplastiques (qui peuvent être partiellement cristallisés).

Les thermodurcissables.

Les élastomères.

I.3.1.Les thermoplastiques

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes. Elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme, Exemples de thermoplastiques :

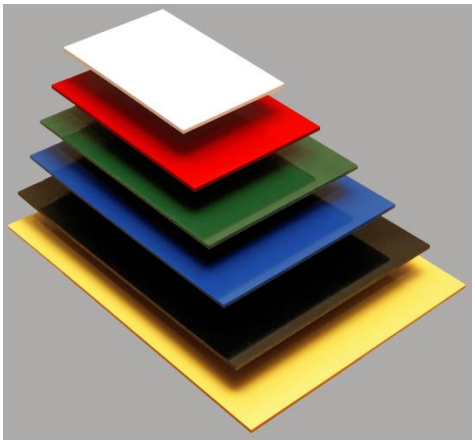


Figure I.2 Les plaque de thermoplastique.

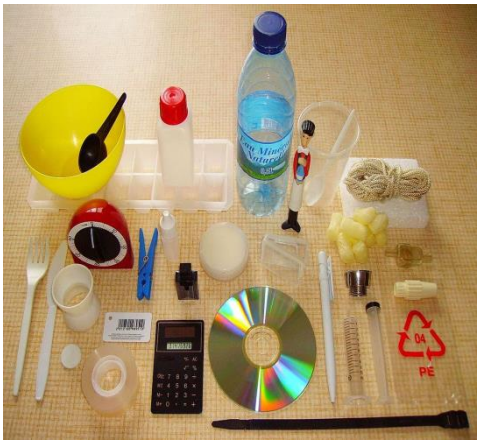


Figure I.3 Quelque produit Thermoplastique.

I.3.2.Le polypropylène (PP) :

C’est aussi un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à colorer et n'absorbe pas l'eau.

On en trouve beaucoup sous forme de pièces moulées dans les équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, habillage de l'habitacle) et dans le mobilier de jardin. Ce matériau sert à fabriquer des boîtes à aliments qui résistent au lave-vaisselle parce qu'il ne fond pas en dessous de 160°C.

Le polypropylène est aussi utilisé dans la fabrication de fibres synthétiques (tapis, moquettes, cordes, ficelles) mais aussi pour les emballages alimentaires en raison de son aspect brillant et de sa résistance (flacons, films, pots).

Cependant, le PP film est un des plastiques usuels les plus difficiles à recycler surtout s'il est imprimé. Le contrôle de la polymérisation par catalyse permet de jouer sur la structure à fin de produire du polypropylène élastomère.

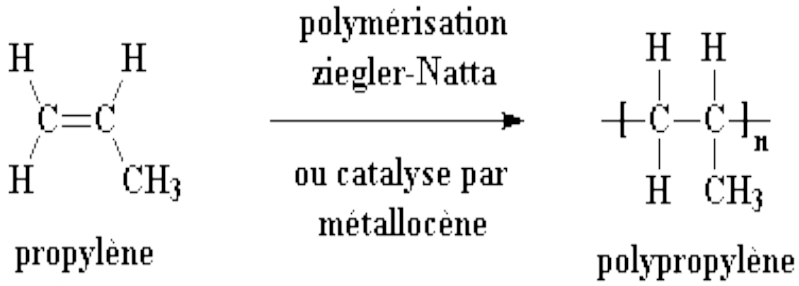


Figure I.4 composition chimique de polypropylène(PP).

Figure I.5 Quelque objet fabrique par polypropylène.

I.3.3 Les Polyéthylènes (PE) :

Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques. Grâce à sa structure chimique simple, le polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé. Au cours de ces dernières années, le recyclage des produits usés en PE a pris de plus en plus d'importance : 50% du PE constituant les sacs poubelle sont recyclés. Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier et résistant au froid. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau. On distingue deux familles: le PEBD ou polyéthylène basse densité et le PEHD polyéthylène haute densité.

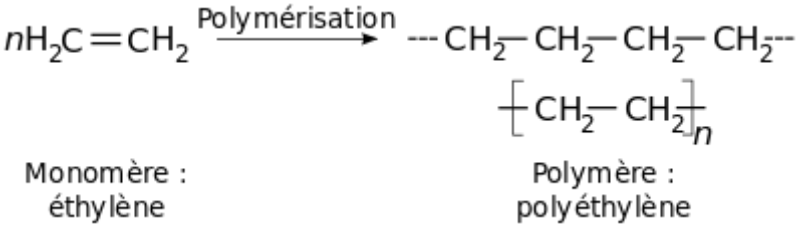
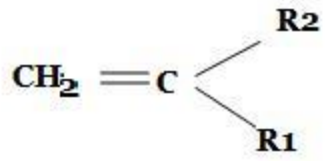


Figure I.6 Composition chimique de polythène(PE).

Figure I.7 Quelque objets fabriqués par polythène(PE)

I.3.4 Les polyoléfines :

Les polyoléfines sont des matériaux résultant de la polymérisation d'oléfines c'est-à-dire de monomères hydrocarbonés dont la formule générale est :



Ou' R1 et R2 sont des groupements tels que : H ; CH_2 ; $-CH_2-CH-(CH_3)2$…
Les principales polyoléfines industrielles sont :
Les polyéthylènes (PE) ; les polypropylènes (PP) et les polyisobutylenes (P-IB) [6].

I.3.5 Les thermodurcissables :

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand

nombre de liaisons chimiques solides ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé.

Figure I.8 Quelques objets thermodurcissables

I.3.6 Les élastomères :

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles- mêmes. Sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer. Pour que le matériau de base présente une bonne élasticité il subit une vulcanisation. C'est un procédé de cuisson et de durcissement qui permet de créer un réseau plus ou moins rigide sans supprimer la flexibilité des chaînes moléculaires. On introduit dans l'élastomère au cours de la vulcanisation du soufre, du carbone et différents agents chimiques. Différentes formulations permettent de produire des caoutchoucs de synthèse en vue d'utilisations spécifiques. Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants, dessemelles de chaussures ou des pneus.

Figures I.9 Quelques objets sont des élastomères.

.

I.4.Les différents types des polymères [04] :

Il existe deux types de polymères :

♣Les homopolymères.

♣Les copolymères.

I.4.1. Homopolymères :

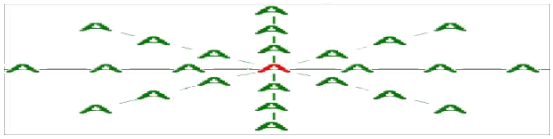
Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité. Parmi les homopolymères, on peut citer le polyéthylène.

Parmi les différents types d'homopolymères, nous trouvons

Les homopolymères linéaires.

Les homopolymères branchés.

Les homopolymères étoilés. .



I.4.2. Copolymères :

Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. Comme pour les homopolymères, les copolymères peuvent se classer dans différentes familles. On parle alors de modes de copolymères,

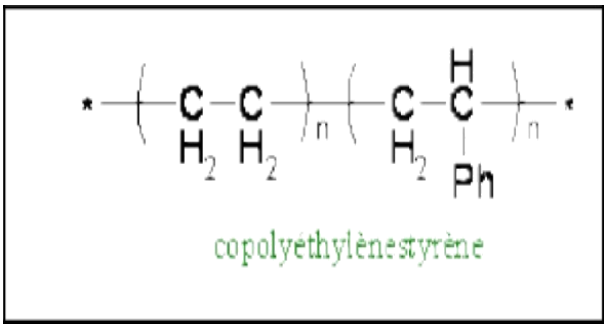


Figure I.10 : représentation de copolymères.

Parmi les différents modes de copolymères, nous trouvons :

- le mode statistique. A—A—B—A—B—B—B—B—A—A—B—A
- le mode alterné. A—B—A—B—A—B—A—B—A—B—A
- le mode séquencé. A—A—A—A—A—A—B—B—B—B—B—B—B

I.5.Les propriétés des polymères [03] [04] :

I.5.1.Les Propriétés chimiques des polymères :

Le comportement chimique du matériau dépend en grande partie de la nature chimique de la partie polymère mais aussi de son accessibilité aux agents extérieurs. L'action des produits chimique sur le matériau, puis du Comportement au feu qui est une attaque chimique à température élevée. Ce pendant des réactifs utilises comme solvants peuvent être des agents d'attaque chimique, les liaisons chimiques peuvent être dégradées chimiquement sous l'action des acides à température élevée.

I.5.2.Les Propriétés physiques des polymères :

Si l'on considère l'usage des matériaux polymères, on distingue deux classes : les polymères techniques et les polymères à usage structural.

♣Les polymères techniques : sont généralement produits en petites quantités pour leur propriété optique, électronique, physico-chimique, pharmaceutique, etc.

♣Les polymères à usage structural : sont formulés pour adapter leurs propriétés mécaniques à un usage donné. C'est essentiellement la rigidité et l'amortissement qui sont concernés. Bien sûr plusieurs propriétés peuvent être concernées simultanément, par exemple dans le cas des polymères transparents où de bonnes propriétés optiques et une moindre fragilité sont exigées.

I.5.3. Propriétés mécaniques :

Les propriétés mécaniques décrivent leur comportement vis à vis des sollicitations mécaniques telles que pressions, étirements, torsions, frottements, chocs et effets de la pesanteur. Autrement dit, est-ce que la structure et la forme du polymère sont stables dans le temps, même s'il est un peu bousculé. Certains polymères seront appréciés pour leur bonne stabilité dimensionnelle (par exemple les polyesters aromatiques). D'autres, les élastomères, seront recherchés pour leur élasticité qui leur confère une excellente capacitéd'absorption des chocs.

I.6.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fait une synthèse associée aux généralités sur les polymères. Ainsi, les polymères sont classés comme des matériaux complexes en comparaison aux matériaux des petites molécules.

CHAPITRE II : Généralité sur les géomembranes

II.1. Introduction géomembrane :

Les géomembrane sont apparues depuis quelques dizaines d'années, mais leur utilisation s'est développée de façon considérable en raison, en particulier, de l'attention portée aux problèmes de l'environnement.

Le développement des géomembranes s'inscrit dans celui de l'emploi des matériaux synthétiques dans le génie civil. C'est le géotextile qui a été le premier d'un ensemble de matériaux qui maintenant rassemble plusieurs familles différentes.

II.2. Définition de la géomembrane : [05]

On rappellera que les géosynthétiques sont des matériaux manufacturésen forme de nappe, à base de polymères, utilisésdans les applications de la géotechnique et du génie civil.

■ **Géomembrane** (définition AFNOR NF P84-500) :

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

II.3 Fonction et nature [05] :

La fonction des géomembranes est d'assurer une étanchéité que les conditions naturelles d'un site ne présentent pas, ou que doit comporter un ouvrage à réaliser.

Ce peut être, dans le premier cas, un bassin de réception d'un effluent de nature quelconque ou une décharge de déchets, dans le second cas, un barrage, un canal en remblai, un tunnel ou une canalisation.

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

II.4.Fabrication et matériaux de base : [06]

II.4.1 Fabrication :

La fabrication des géomembranes commence par la fabrication des matériaux de base. Ceux-ci comprennent la résine de base thermoplastique ou élastomérique ainsi que les plastifiants ou agents de vulcanisation.

On distinguera deux grandes méthodes de fabrication :

— **l'extrusion** : pour la fabrication des membranes les plus simples, en simple pli renforcé ou non. L'extrusion/soufflage est un procédé dans lequel un cylindre de thermoplaste est extrudé puis retiré longitudinalement et transversalement par soufflage.

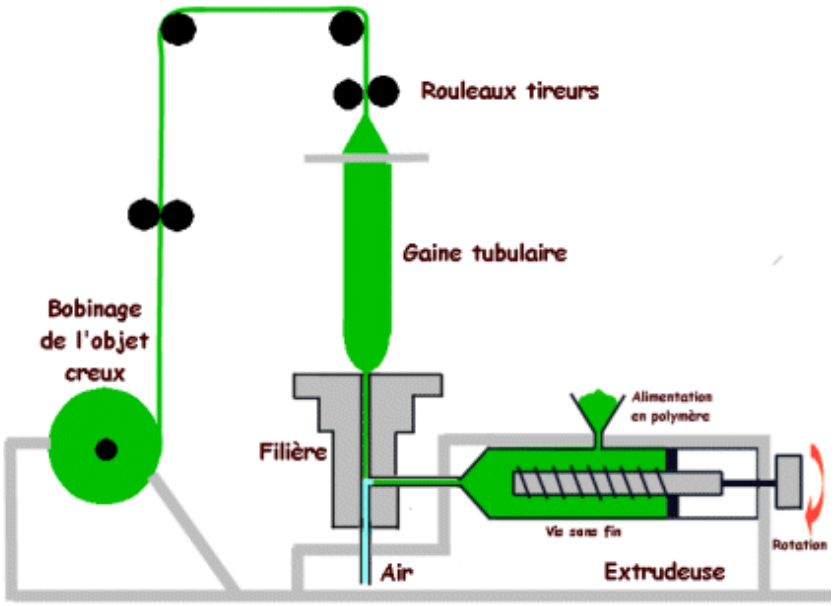


Figure II.1 Procédé d'extrusion gonflage

— **le calandrage :** pour réaliser des géomembranes multi plis avec ou sans renforcement par colaminage de différentes épaisseurs de produits. C'est le procédé utilisé en particulier pour les géomembranes bitumineuses ;

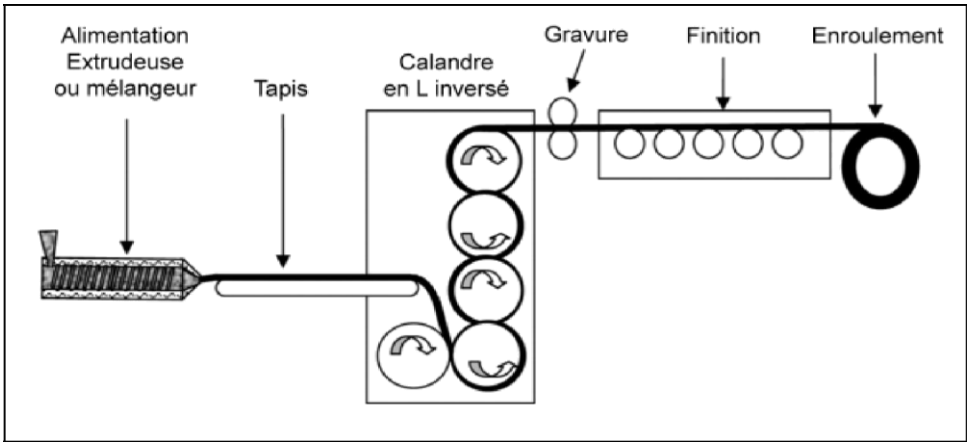


Figure II.2 Schéma illustrant le principe du calandrage.

II.4.2 Matériaux de base [06] :

On distingue deux grandes catégories : les polymères de synthèse et les matériaux bitumineux.

■ Polymères de synthèse

Ce sont des composés chimiques de masse moléculaire élevée.

Les plus communément utilisés actuellement comme produits de base pour la fabrication des géomembranes peuvent être classés de la manière suivante (les symboles entre parenthèses sont consacrés par l'usage en France) :

— les thermoplastiques : polychlorure de vinyle (PVC) ; PVC résistant aux huiles (PVC-OR) ; thermoplaste PVC nitrile (PVC-NT) ; alliage éthylène inter polymère (AEI) ;

— les thermoplastiques cristallins : polyéthylène basse densité (PEhd) ; polyéthylène haute densité (PEhd) ; alliage polyéthylène haute densité (PEhd-A) ; polyéthylène moyenne densité ; polyéthylène linéaire basse densité ; polypropylène ;

— les élastomères : caoutchouc isoprène-iso butylène (IIR) communément appelé caoutchouc butyl ; éthylène-propylène diène monomère (EPDM) ; polychloroprène (CR)

— les élastomères thermoplastiques : polyéthylène chloré (PE-C) ; alliage polyéthylène chloré (PE-C-A) ; polyéthylène chlore sulfoné (PE-C-S) appelé couramment Hypalon ; éthylène propylène diène ter polymère thermoplastique (EPDM-T).

—Matériaux bitumineux : Ce sont des mélanges d'hydrocarbures d'une masse moléculaire élevée obtenus soit à partir de produits naturels, soit plus généralement sous forme de sous-produits de distillation du pétrole. Ils présentent un comportement viscoélastique, c'est-à-dire que leur déformation peut dépendre non seulement de la charge, mais aussi de sa durée d'application et de la température.

II.5.Les différents types des géomembranes [07] :

II.5.1. le Polyéthylène (PE)

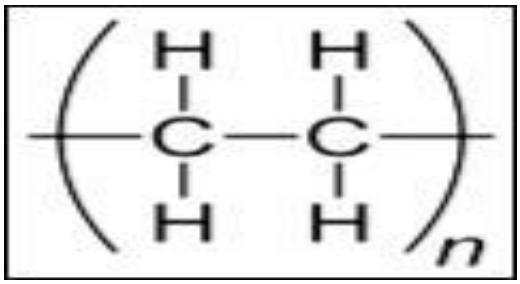
Le PE est un polymère semi cristallin composé de parties cristallines dans lesquelles les chaînes se replient sur elles-mêmes pour former des segments réguliers qui s'empilent selon un réseau cristallin pour former des cristallites, et de parties amorphes qui séparent les lamelles cristallines et dans 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.

A température ambiante, le PE se trouve au-dessus de sa température de transition vitreuse (-110°C). La phase amorphe est caoutchouteuse elle influence sur le comportement mécanique. Les propriétés mécaniques sont également dépendantes du taux de cristallinité et de la masse moléculaire. Ainsi, une augmentation de la cristallinité provoque une diminution de la ductilité et de la résistance à l'impact. Le Tableau II-1 présente les propriétés mécaniques de ces différents polyéthylènes.

Tableau II-1: Propriétés mécaniques des différents polyéthylènes (Hert, 1982)

Propriétés	PEhd	PEbd		PEbdl	
		Film	*Plaquette*	*Film*	*Plaquette*
Contrainte au seuil d'écoulement - traction - (MPa)	25-30	8-15.5 / 7-10		9-20 / 10-20	
Résistance rupture (MPa)	30 - 35	9-23 / 8-10		20-30 / 10-13	
Allongement rupture %	500-1100	150-1100 / 300-800		600-1200 / 500-700	
Module d'élasticité en traction (MPa)	800-1100	200-500 / 190-280		200-600 / 210-550	
Dureté shore D	66	40-47 / 40-47		46-63 / 46-63	

II.5.2 Structure :



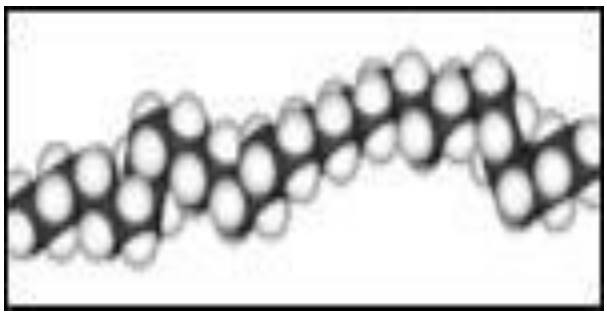


Figure II.3 Schéma représentatif du polyéthylène.

II.5.3 Les différents types PE :

Il existe différents types de polyéthylène

La présence de comonomères tel le butène, l'hexane ou l'octane, gêne le processus de réorganisation des chaînes conduisant à la formation des lamelles cristallines. L'introduction de ces branchements courts sur une chaîne carbonée abaisse la masse volumique du polyéthylène en réduisant sa cristallinité. On parle alors de PEBDL (Polyéthylène Basse Densité Linéaire). Conventionnellement, le polyéthylène est classé selon trois groupes de densité, comme le montre le tableau II-2 suivant :

Tableau II-2: Classification du polyéthylène

Densité de la résine ($g.cm^{-3}$)	**Type de PE selon ASTM D883**	**Type de PE selon ASTM D1248**
0,910-0925	Basse densité	Faible densité (Type I)
0,919-0,925	Basse densité linéaire (copolymère)	
0,926-0,940	Moyenne densité	Moyenne densité (Type II)
0,926-0,940	Moyenne densité linéaire (copolymère)	
0,941-0,960	Haute Densité	Haute densité (Type III)
0,961 et plus		Haute densité (Type IV)

Les polyéthylènes sont classés en fonction de leur densité qui dépend du nombre et de la longueur des ramifications présente sur les chaînes moléculaires.

PE-BD, polyéthylène basse densité (en anglais LDPE, low-densitypolyethylene)

PE-BDL, polyéthylène à basse densité linéaire (en Anglais LLDPE, linearlow-densitypolyethylene)

PE-HD, polyéthylène haute densité (en anglais HDPE, high-densitypolyethylene)

PE-UHPM, polyéthylène à masse molaire élevée (en anglais UHMWPE, ultra-high-molecular-weight polyéthylène).

PE-R, polyéthylène réticulé (en anglais PEX, crosslinked- polyethylene).

PE-RHD, polyéthylène réticulé à haute densité (en anglais HDXLPE, High density cross-linkedpolyethylene)

PE-MD, polyéthylène à moyenne densité (en anglais MDPE, medium density polyéthylène)

PE-TBD, polyéthylène à très basse densité (en anglais VLDPE, very Löw density polyéthylène) [8].

II.5.4Géomembrane PEHD :

Le PEhd ou Polyéthylène haute densité (hdPE en anglais, pour high density Polyéthylène) est un matériau thermoplastique de la même famille que le Polypropylène (PP), constitué uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Un matériau thermoplastique est un matériau polymère qui, compte tenu de sa réaction à la température, peut être soudé et recyclé. L'augmentation de la température provoque une mobilité des atomes et des molécules qui finissent par s'imbriquer les uns dans les autres lors du soudage, sous l'effet de la pression exercée.

On parle de haute densité car les chaînes moléculaires sont regroupées localement en « cristallites », sorte d'agglomérats de chaînes présentant un aspect cristallin au microscope, et cela confère au matériau une plus grande rigidité. Il y a donc aussi des polyéthylènes dits de moyenne ou de basse densité, qui sont moins rigides.

Pour assurer une bonne durabilité aux géomembranes PEhd, il est nécessaire d'ajouter à la résine vierge (le polyéthylène) quelques additifs en faible quantité (< 3 %) et notamment du noir de carbone (critère ASQUAL : entre 2 et 3 %) dont le seul rôle est de protéger la résine PEhd des rayons UV (Ultra-violets). Ce mélange entre noir de carbone et résine PEhd est tel que les géomembranes PEhd sont homogènes, c'est-à-dire en tout point de même composition et avec les mêmes propriétés mécaniques, chimiques et thermiques.

Le reste est donc composé de résine vierge et de stabilisants.

La résistance au vieillissement est fonction de la nature et de la qualité des additifs utilisés.

La famille PEhd se caractérise par :

- une masse volumique (g/cm3) comprise entre 0,930 et 0,940 pour la résine vierge selon NFT 51-063 soit entre 0,939 et 0,953 pour le produit fini (résine vierge + noir de carbone + stabilisants)

II.5.5.Géomembrane PVC-P [06] :

Le PVC-P est un matériau thermoplastique dont l'abréviation signifie Polychlorure de Vinyle Plastifié. En anglais, on le désigne par PlastifiedPolyVinyleChloride.

On parle de PVC plastifié car pour rendre le matériau souple, et cela constitue un des principaux avantages des géomembranes PVC-P, il est nécessaire d'ajouter à la résine PVC des plastifiants. Ces plastifiants sont des huiles (des hydrocarbures) qui vont lubrifier la structure moléculaire du PVC et la rendre souple. En l'absence de plastifiants, le PVC est un matériau rigide, cassant, qu'on rencontre par exemple dans la fabrication de tuyauterie (drains agricoles, évacuation sanitaires,...).

Les plastifiants ne sont pas les seuls additifs de la géomembrane PVC. On trouve également des additifs tels que des anti-oxydants, des anti-UV, des lubrifiants, des colorants, des charges

minérales. Cet ensemble, et notamment le chlore contenu dans la résine de base conduit à un produit dont la densité est de l'ordre de 1,2, c'est-à-dire plus lourd que l'eau et donc le matériau coule.

La famille de géomembrane PVCP se caractérise par :

- Résine : % craie < 0,5 % du poids total
- Géomembrane :

. Allongement à rupture > 270 % selon NFP 84-501,

. Résistance aux UV : 4500MJ/m2 suivant ISO 4892-2 (tube xénon),

. Variation dimensionnelle 6h à 80°C : < 2 % suivant EN 1107.

Les géomembranes PVC-P sont disponibles sur le marché actuel dans des épaisseurs comprises entre 1 mm (en dessous, il ne s'agit plus de géomembrane) et 2,5 mm, pour des largeurs de 2,05 m, sorties d'usine.

Les géomembranes PVC sont utilisées dans plusieurs applications telles que les bassins de retenue d'eau, les tunnels, les canaux d'irrigation, les canaux d'acheminement d'eau aux centrales électriques, les décharges municipales, la réhabilitation des barrages et plusieurs autres telles que les applications reliées aux bassins de retenue des eaux de traitement de certains effluents industriels, aux couvertures des cellules d'enfouissement des déchets domestiques, aux étangs paysagés, aux cellules de pisciculture, aux canaux d'irrigation.

Un des avantages de l'utilisation des géomembranes en PVC est leur facilité à produire des grands panneaux en soudant plusieurs lés en usine. En effet il est recommandé de fabriquer sous des conditions de soudure contrôlées des panneaux pouvant couvrir le maximum de surface. Après soudure de plusieurs feuilles de membranes, le panneau ainsi constitué est plié en accordéon pour le transport.

II.5.6.Géomembrane PP-F [06] :

Le PP-F est un matériau thermoplastique dont l'abréviation signifie Polypropylène flexible. Il appartient à la famille des polyoléfines regroupant PE et PP (polyéthylène et polypropylène).

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 (élastomères éthylène-propylène) qui vont donner à la structure moléculaire du PP une grande élasticité et une grande souplesse.

Ces élastomères ne sont pas les seuls additifs à la résine PP. On trouve également du noir de carbone et des stabilisants thermiques.

La famille de géomembrane PP-F se caractérise par :

- Résine : au moins 85 % de résine vierge,
- Géomembrane :

. Allongement à rupture > 600 % selon NFP 84-501,

. Résistance aux UV : >5000 heures suivant ISO 4892-2 (tube xénon),

. Variation des caractéristiques mécaniques : < 10 % (hors allongement à la rupture).

La densité du PP-F est de 0,89 à 0,91.

Les géomembranes PP-F sont disponibles sur le marché actuel dans des épaisseurs comprises entre 1 mm (en dessous, il ne s'agit plus de géomembrane) et 2,0 mm, pour des largeurs de 5 à 7 m environ, sorties d'usine.

Depuis le début des années 1990, ces géomembranes 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, la géomembrane conservant sa souplesse jusqu'à une température inférieure à – 60 °C. Le produit composite, co-polymère polypropylène (PP) et élastomère éthylène propylène (EEP), possède des propriétés physiques

similaires aux membranes en polyéthylène tout en garantissant une aisance d'installation analogue à celle des membranes en polychlorure de vinyle (PVC)

Un des avantages de l'utilisation des membranes en PP est leur facilité à produire des panneaux en soudant plusieurs lés en usine. En effet il est recommandé de fabriquer sous des conditions de soudure contrôlées des panneaux pouvant couvrir le maximum de surface. Suite à la soudure des plusieurs feuilles de membranes, le panneau est plié en accordéon pour le transport.

Le PP-F est constitué de résine polypropylène et d'élastomères thermoplastiques qui brûlent tous les deux. Les géomembranes PP-F brûlent, même après avoir retiré la flamme avec une odeur assez caractéristique de pneu brûlé due à la présence des élastomères.

Les géomembranes PP-F s'oxydent assez rapidement en surface après installation, ou même après déroulage. Cette oxydation génère des difficultés lors du soudage manuel. Il est donc nécessaire de traiter la surface avant soudage.

D'une manière générale, pour la résistance aux produits chimiques et pour la tenue aux UV, il convient de se rapprocher des fournisseurs, différentes formulations pouvant être proposées.

Autre caractéristique du PP-F, sa dilatation thermique : lorsque la température extérieure augmente, le PP-F se dilate comme le PVC-P c'est-à-dire 2 fois moins que le PEhd pour former néanmoins des ondes (ou plis) qui peuvent gêner la pose et le soudage des lés. Inversement, la baisse de la température engendre un retrait (rétrécissement) qui peut provoquer une tension et des contraintes dans la géomembrane et conduire à sa rupture en cas de mise en charge. C'est la raison pour laquelle il est impératif de respecter les températures de soudage (température extérieure comprise entre 5°C et 30°C).

II.5.7. Géomembrane EPDM [06] :

L'EPDM, Éthylène-Propylène-Diène Monomère est un matériau élastomère vulcanisé utilisé pour la fabrication de géomembranes très souples.

Ce matériau est principalement constitué de molécules d'éthylène et de propylène, le diène assurant la réaction de polymérisation entre ces deux molécules.

Un élastomère est un matériau dont le comportement mécanique est purement élastique, ce qui signifie que si on exerce une traction sur ce matériau il s'allonge mais il revient toujours à sa position initiale une fois cette tension relâchée. La plupart des autres géomembranes possèdent également une partie élastique mais plus faible et au-delà d'une certaine valeur correspondant à la limite élastique (ex. : le seuil d'écoulement pour le PEhd) il y a déformation irréversible des matériaux.

Les géomembranes EPDM sont constituées de différentes résines et de noir de carbone en quantité importante (< 45 %). Ce noir de carbone offre une très bonne protection contre l'attaque des rayons ultraviolets (UV). Du fait de l'élasticité de ce produit, il n'y a pas besoin de plastifiants pour rendre le matériau plus souple.

Composition type des géomembranes EPDM :

- Polymère : > 25 %
- Noir de carbone : > 25 %
- Charges minérales : < 25 %
- Noir de carbone + charge minérales < 55 %

L’épaisseur courante de ce type de géomembrane est de 1,02 à 2,3 mm (selon la norme ASTM D5199).

La largeur de commercialisation des lès de géomembrane varie de 1,50 à 15,25 m.

Les géomembranes EPDM sont livrées sous forme de nappes assemblées en usine. Des lés de faible largeur sont en effet soudés par vulcanisation à chaud pour former des nappes de 15 m x 60 m maxi environ. Ces nappes peuvent ensuite être de nouveau assemblées entre elles par vulcanisation à froid en atelier (soudage au sens de la certification ASQUAL) pour former des nappes de 2 000 m2. En effet il est recommandé de fabriquer sous des conditions de soudure contrôlées des panneaux pouvant couvrir le maximum de surface. Suite à la soudure de plusieurs feuilles de membranes, le panneau est plié en accordéon pour le transport. Les joints de recouvrement des membranes EPDM sont effectués à l’aide des techniques à air chaud (en usine), avec solvant ou avec des bandes auto-adhésives en chantier.

II-6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons défini le géomembrane d'une manière générale .nous avons parlés sur les déférente type de géomembrane qui existe sur le marches, et de leur caractéristique et leur compositions chimiques.et leur utilisation. Et aussi nous avons décrit les procèdes d élaborations des géomembrane tel que l'extrusion et le calandrage.

Chapitre III. Généralité sur la Géomembranes Polyéthylène

III.1. Introduction sur la géomembrane PE :

La part de marché des géomembranes de polyéthylène n'a cessé d'augmenter depuis leur introduction. En effet, ces matériaux offrent un complément économique à l'étanchéité argileuse, en offrant une barrière d'étanchéité active disposant d'une faible variabilité intrinsèque, contrairement aux matériaux naturels. Le concept d'étanchéité synthétique, associé à une stratégie de contrôle de la qualité très serrée tant lors de la production qu'à la livraison et l'installation, a donc facilement pénétré le marché de l'étanchéité et fait maintenant partie des conceptions classiques.

Cependant, si l'utilisation de polymères dans le domaine de la construction est généralisée, les exigences de durabilité peuvent être très différentes d'une application à l'autre. Ainsi, les durées de vies requises pour des géomembranes peuvent parfois excéder des dizaines d'années. De plus, les conséquences associées à une rupture d'étanchéité peuvent être dramatiques en termes de coûts et de dommages àla santé humaine, contrairement à des applications moins nobles.

Dans ce contexte, l'industrie des géomembranes s'est intéressée très tôt à la compréhension des mécanismes de dégradation du polyéthylène dans le contexte spécifique de leur application, ainsi qu'aux moyens de les contrôler. Dans le cadre de cette démarche, de nombreuses recommandations relatives à la conception d'ouvrages de confinement ont été produites, et la formulation du produit a été améliorée année après année. Progressivement, les critères de contrôle de la qualité du produit fini se sont recentrés vers les mécanismes de dégradation du polyéthylène les plus pertinents pour les applications environnementales, en plus des propriétés habituellement considérées pour des applications traditionnelles de matériaux de construction.

III.2.Survol d'un cahier des charges typique d'une géomembrane de polyéthylène :

Dans le domaine environnemental, les principaux critères de sélection d'une formulation appropriée des polymères utilisés pour la fabrication des géomembranes peuvent être classés en trois grandes catégories :

♣**Contraintes de mise en forme** : le produit doit pouvoir être fabriqué en grande largeur et doitpouvoir être assemblé sur chantier, en tenant compte des compétences de la main d'œuvrelocale et de la disponibilité d'outils adaptés;

♣**Contraintes fonctionnelles** : le produit doit pouvoir résister aux contraintes mécaniques, chimiquesou autres associées à sa fonction;

♣**Durabilité** : le produit doit maintenir ses propriétés dans son environnement de service, pendantune période excédant la durée de vie anticipée de l'ouvrage.

Les contraintes de mise en œuvre et les contraintes fonctionnelles du polyéthylène sont gérées par le choix d'un type de polyéthylène adapté (résine de base). En effet, l'ingénierie des géomembranes repose en très grande partie sur la maîtrise de leur mise en œuvre etsur la façon de gérer leur interaction avec leur environnement immédiat : résistances chimiques, résistances mécaniques, poinçonnement hydrostatique, angle de frottement à l'interface, qualité des soudures, etc.

Les contraintes de durabilités sont quant à elles gérées d'une part lors de la sélection de la résine de base, d'autre part lors de la formulation détaillée du produit par le manufacturier. Afin de conférer auproduit fini la durabilité requise, celui-ci procède en effet à l'adjonction d'additifs chimiques à la résine debase, dans une proportion variant de 2 à 5% tous additifs confondus.

Il faut souligner que les exigences de durabilité des géomembranes de polyéthylène constituent la principale singularité de ce matériau en comparaison avec les autres applications des polymères. Eneffet, la durée de vie attendue pour une géomembrane diffère très largement de celles que l'on peutrencontrer dans d'autres applications.

III.3. Structure moléculaire du polyéthylène (PE) :

Dans le domaine du génie civil ou environnemental, les polyéthylènes sont couramment utilisés non seulement pour la fabrication de géomembranes mais aussi pour d'autres produits géosynthétiques, ou les tuyaux.

Cependant, tant la résine de base que le typed'additifs utilisés varient du tout au tout.

Le polyéthylène (PE) est un polymère constitué de grosses molécules formées par la polymérisation de motifs structurels identiques correspondant aux monomères utilisés pour leur synthèse. Le PE résulte de la polymérisation de l'éthylène (C_2H_4).

Les méthodes industrielles de synthèse de l'éthylène peuvent conduire à des structures moléculaires comportant, soit des segments de chaînes ramifiés à une chaîne principale (polyéthylène basse densité – LDPE-), à une structure très linéaire avec très peu de ramifications (polyéthylène haute densité –HDPE-) ou à une structure linéaire avec de courtes ramifications (polyéthylène basse densité linéaire – LLDPE-).
Les propriétés du produit fini sont entre autres influencées par les paramètres suivants :

♦**La longueur des chaînes moléculaires**, qui dépend du degré de polymérisation.
Typiquement, le degré de polymérisation des résines utilisées en industrie est très élevé et mène à des masses moléculaires moyennes supérieures à 200 000 g/mol.

♦**La distribution de poids moléculaire**, c'est-à-dire la distribution des longueurs de chaînes dans unmélange dans un ensemble demolécules.

On peut en outre souligner que les polyéthylènes sont des polymères à structure semi-cristalline, c'est à dire que la résine est constituée :
- d'une fraction amorphe, pour laquelle les chaînes de polymère n'ont pas d'orientation spécifique;
- d'une fraction cristalline qui est constituée de chaînes organisées en groupes compacts et orientés.

Le taux de cristallinité, utilisé pour caractériser cette propriété, dépend de l'aptitude des chaînes à former des cristaux. Cette caractéristique est essentiellement influencée par la structure moléculaire de la résine (longueurs des chaînes, distribution de poids moléculaire, linéarité des chaînes, etc.), mais aussi par le processus de fabrication et notamment la vitesse de refroidissement imposée lors de la mise en forme du produit.

III.4. Aspects phénoménologiques de dégradation du polyéthylène :

Compte tenu de leur nature non polaire, les polyéthylènes sont très résistants aux agressions chimiques.
Du fait de son taux de cristallinité très élevé, le polyéthylène haut densité est plus résistant aux agressions chimiques que le polyéthylène à basse densité linéaire.

Cependant, les HDPEpeuvent être sensibles à la fissuration sous contrainte en présence de certains agents, ce qui n'est pasle cas du LLDPE.

L'oxydation (thermo-oxydation, photo-oxydation, oxydation chimique) est le principal mécanisme de dégradation de nature chimique affectant l'intégrité des molécules de polyéthylène.
Une stabilisation adéquate impliquant l'ajout d'additifs tels que les antioxydants ou des stabiliseurs UV permet cependant de conférer au produit une durabilité satisfaisante.

La température de transition vitreuse du polyéthylène étant très faible (de l'ordre de –70 à –120°C), la mobilité des chaînes est relativement aisée. Par conséquent, des phénomènes tels que la post cristallisation, le fluage ou la relaxation sont susceptibles de se produire, particulièrement pour lePEBDL.

III.4.1. Résistance à la fissuration sous contrainte :

La fissuration sous contrainte consiste en la rupture fragile d'un échantillon de matériau mis sous tension, en présence d'un agent chimique accélérateur. Ce mode de rupture diffère du fluage dans le fait que bien que la contrainte soit appliquée sur une surface relativement importante, la déformation se produit sur une petite section et conduit à plus longue échéance à une rupture complète du matériau.

De plus, le niveau de contrainte associé à une rupture du matériau est généralement inférieur à la moitié de la résistance au seuil d'écoulement du matériau.

À l'échelle moléculaire, ce type de rupture se produit dans la phase amorphe du polymère. En effet, du fait de la structure semi-cristalline du polyéthylène, un certain nombre de molécules de la phase amorphe établissent une liaison entre deux éléments cristallins voisins l'un de l'autre. Cette liaison est assurée par l'enchevêtrement de molécules les unes au travers des autres. Lorsque mis sous contrainte en présence d'un agent lubrifiant, une rupture par fissuration sous contrainte peut se produire : les molécules de liaison se trouvent étirées jusqu'à ne plus pouvoir assurer la liaison entre les deux lamelles cristallines qu'elles maintenaient ensemble.

Une des caractéristiques de la rupture par fissuration sous contrainte est qu'elle laisse une surface de rupture relativement lisse au toucher, dans la mesure où les éléments cristallins du polyéthylène n'ont pas été affectés.

III.4.2. Oxydation thermique :

L'oxydation thermique du polyéthylène est initiée par l'énergie provenant d'une température élevée. Elle implique l'altération des liaisons moléculaires au sein des chaînes de polymère.
Une liaison moléculaire est caractérisée par une énergie de liaison, qui est dépendante du type d'élément impliqué dans cette liaison (par exemple carbone – carbone, carbone – hydrogène, etc.), ainsi que des autres liaisons moléculaires avoisinantes. Plus l'énergie de liaison est élevée, plus la liaison est stable. Le tableau propose des valeurs d'énergie de liaison impliquées dans la stabilité de différents polymères utilisés couramment dans les géosynthétiques.

L'énergie procurée par la chaleur induit une vibration à l'échelle de la molécule. La probabilité de dissociation augmente au fur et à mesure que l'énergie de vibration augmente et se rapproche de l'énergie de liaison. Cette éventuelle rupture d'une liaison peut mener à la fragmentation de la chaîne moléculaire et à la formation de radicaux libres, qui peuvent alors réagir avec les liaisons environnantes et propager la dégradation.

N°	Type de Liaison	Energie de Liaison (Kcal/mol
1	C=O	174
2	C-C (aromatique)	124
3	C-H (méthane)	102
4	C-Cl (chlorure de méthyle	84
5	RO-OR (hydroperoxyde)	36

Tableau 1. Énergies de liaison moléculaires typiquement rencontrées dans les polymères utilisés pour la fabrication de géosynthétiques

La dégradation thermique se produit normalement à l'étape de la mise en forme du produit où la résine est portée à des températures élevées. Les modifications de structures ainsi causées affectent non seulement les propriétés finales de la résine, mais sensibilisent également cette dernière à d'autres types de dégradation susceptibles de survenir ultérieurement, comme la photo-oxydation.

En présence d'oxygène, la dégradation thermique conduit à la thermo-oxydation. De façon Générale, le mécanisme de réaction accepté implique trois étapes de réactions en chaîne, soit des réactions d'initiation, de propagation et de terminaison :

- La réaction d'initiation peut être causée par l'oxygène, le cisaillement, la chaleur, les résidus de catalyseurs ou toute combinaison de ces facteurs. Cette réaction cause la rupture d'une liaison chimique est la formation d'un radical libre :

Initiation : $RH \rightarrow R\bullet$ (1)

- Le radical libre ainsi formé réagit rapidement avec l'oxygène dissous dans le polymère et forme un radical peroxyde très réactif qui arrache facilement un hydrogène d'une chaîne voisine pour former un hydroperoxyde et un autre radical libre.

Propagation: $R\bullet + O_2 \rightarrow ROO\bullet$ (2)

$ROO\bullet + RH \rightarrow ROOH + R\bullet$ (3)

En plus du radical libre R• régénéré par la réaction 3, les hydroperoxydes formés par cette réaction se décomposent facilement en radicaux libres sous l'action de la chaleur ou des

radiations. Leur durée de vie dans les conditions de mise en forme est très courte et ils se décomposent en radicaux RO• et •OH.

Ces deux radicaux peuvent attaquer d'autres chaînes et accélérer la vitesse de dégradation (cycle d'auto-oxydation).

Les réactions de propagation se poursuivent jusqu'à ce que les radicaux soient neutralisés, soit par couplage entre eux, soit par l'action d'un antioxydant.

Essentiellement, la thermo-oxydation débute avec une période d'induction pendant laquelle aucun changement significatif des propriétés du matériau n'est généralement observé. Puis, au fur et à mesure que l'oxydation de matériau se produit, cette première étape est suivie d'une période dite d'accélération, pendant laquelle le polymère réagit relativement rapidement avec l'oxygène. Cette période correspond aussi au moment où les propriétés mécaniques du matériau commencent à diminuer (figure III.1).

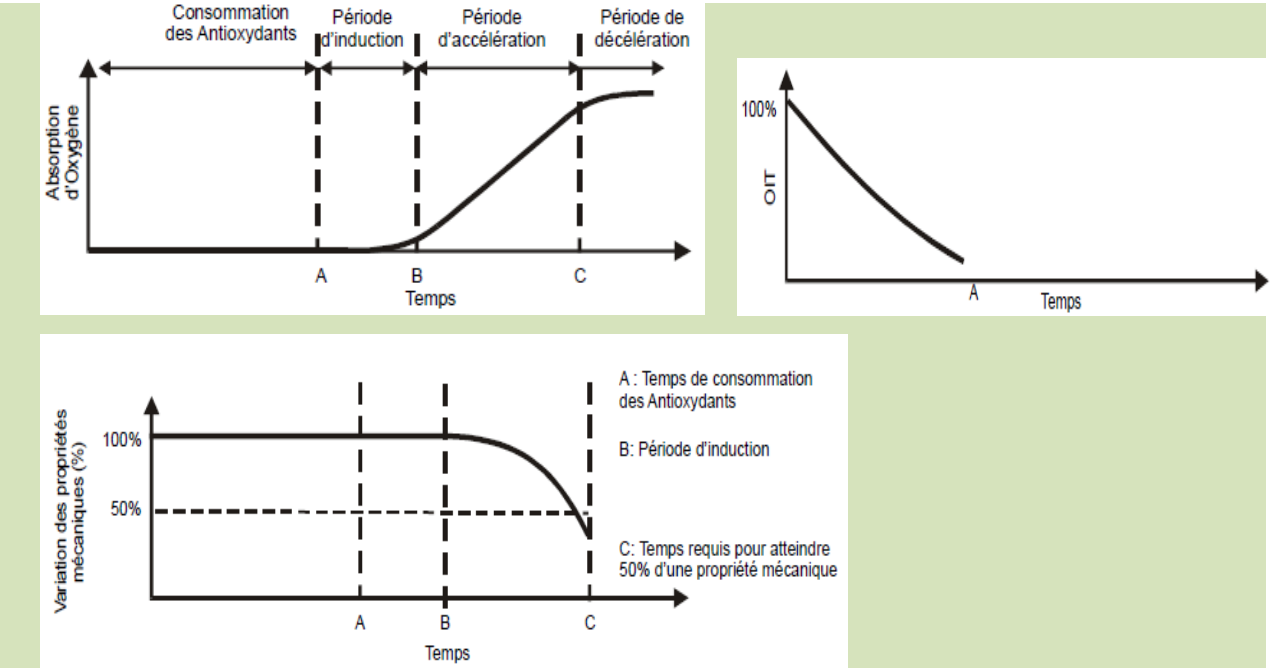


Figure III.1. Les différentes étapes de la dégradation par thermo-oxydation du polyéthylène.

III.4.3. Photo-oxydation (résistance aux ultra-violets) :

La photo-dégradation est un procédé similaire à la dégradation thermique, cependant la source d'énergie induisant la dégradation provient du rayonnement ultra-violet plutôt que de la chaleur.

De nombreuses variables influencent la vitesse de dégradation par photo-oxydation. L'intensité de la radiation et la perméabilité à l'oxygène sont les plus importantes, mais d'autres facteurs tels que la température et l'humidité jouent aussi un rôle significatif.

La distribution du rayonnement UV à la surface de la terre et au sein même d'une région donnée varie énormément. En effet, la filtration des rayonnements offerte par l'atmosphère sera dépendante de la position sur la terre et de la composition de l'atmosphère (figureIII.2), tandis que l'angle du matériau avec les rayons incidents (angle des pentes et leur orientation), la présence d'écrans (poussières, végétation…), de surfaces réflectives situées à proximité et de nombreux autres facteurs locaux influeront sur l'intensité réelle de la radiation.

En outre, la température du produit a une influence sur la mobilité des molécules, ainsi que sur la cinétique desréactions chimiques impliquées dans le mécanisme de dégradation. Aussi, la température effective d'un produit exposé à un rayonnement ultra-violet aura une incidence directe sur la vitesse de dégradation.

De même que pour la dégradation thermique, des additifs sont utilisés pour réduire la sensibilité à la photo-oxydation des géomembranes de polyéthylène afin d'augmenter leur durée de vie.

ALGERIE

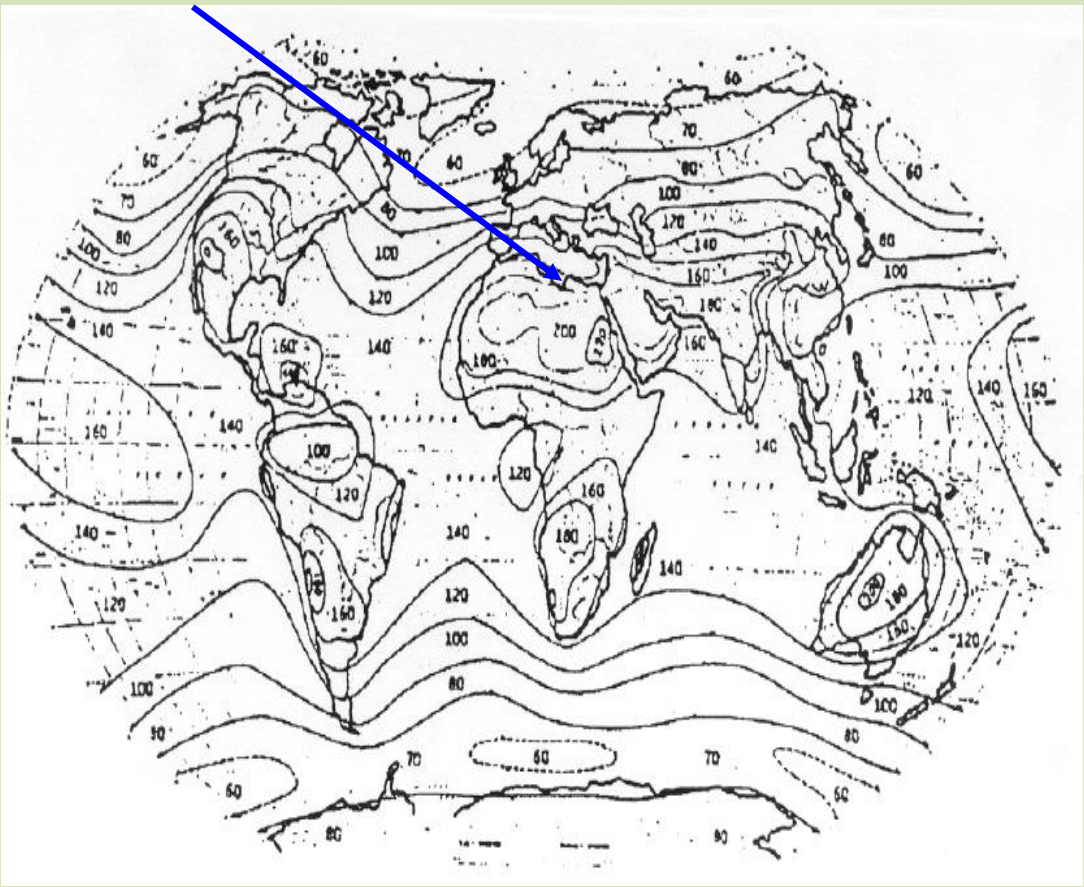


Figure III.2 : Distribution annuelle moyenne de la radiation solaire sur la terre (kLy); La flèche situe la position de l'Algérie

Les principales propriétés susceptibles d'affecter la durabilité du polyéthylène peuvent être résumées comme suit:

- Excellente résistance à de nombreuses classes d'agents chimique ;
- Risque de dégradation microbiologique quasi-inexistant ;
- Pour le PEHD: sensible à la fissuration sous contrainte ;
- Sensible à l'oxydation, qui reste la principale cause de dégradation du polyéthylène. Celle-ci peut être thermique (thermo-oxydation) ou liée à un rayonnement ultra-violet (photo-oxydation).

D'un point de vue pratique, les autres sources de dégradation potentielle peuvent être considérées comme ayant un effet nul ou marginal sur les géomembranes de polyéthylène.

HDPE résiste faiblement aux UV. En ajoutant 2-3% de noir de carbone et de stabilisant HALS, la résistance aux UV est significativement améliorée.

III.5. Additifs :

Tel que décrit précédemment, le phénomène de fissuration sous contrainte est essentiellement géré lors de la sélection du type de résine et notamment de la distribution de poids moléculaire.

Par contre, la résistance à l'oxydation, qu'elle soit associée à une exposition à la chaleur (thermo oxydation) ou liée à un rayonnement ultra-violet (photo-oxydation) est gérée par l'adjonction d'additifs à la résine de base. Ceux-ci peuvent être composés de pigments, d'absorbeurs UV et de désactivateurs de radicaux libres (antioxydants).

Les pigments et les absorbeurs UV agissent comme des écrans, en absorbant les radiations UV avant qu'elles ne causent de dommages, l'énergie reçue étant transformée en chaleur.

Un additif de ce type traditionnellement utilisé dans la fabrication de géomembranes de polyéthylène est le noir de carbone. Celui-ci est ajouté lors de la production du produit et dispersé dans la masse même de larésine. Le pourcentage de noir de carbone est choisi de telle façon que le rayonnement UV ne soit pasen mesure de pénétrer dans le matériel au-delà d'une très faible profondeur, sans toutefois altérer lesautres 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 problématiquede la fissuration sous contrainte.

Les antioxydants protègent le polymère en inhibant ou retardant une des étapes du processus d'oxydation. Certains types d'antioxydants captent les radicaux libres avant qu'ils n'attaquent les chaînes, d'autres agissent comme donneur d'hydrogène en se sacrifiant à la place des chaînes. Ces mécanismes de stabilisation conduisent à la formation de produits stables inoffensifs pour le polymère.

Les antioxydants peuvent être de plusieurs natures et agir à différentes températures suivant la fonction que l'on veut leur donner. Leurs mécanismes de fonctionnement sont variables selon qu'ils interviennent lors de la mise en forme du produit ou pendant la période de service.

Les HALS (Hindered Amine Light Stabilizers), de plus en plus utilisés dans la formulation des géomembranes de polyéthylène, diffèrent des antioxydants phénoliques par leur mécanisme cyclique et régénérateur durant le processus de stabilisation. Les HALS conservent donc leur efficacité beaucoupplus longtemps que les antioxydants phénoliques.

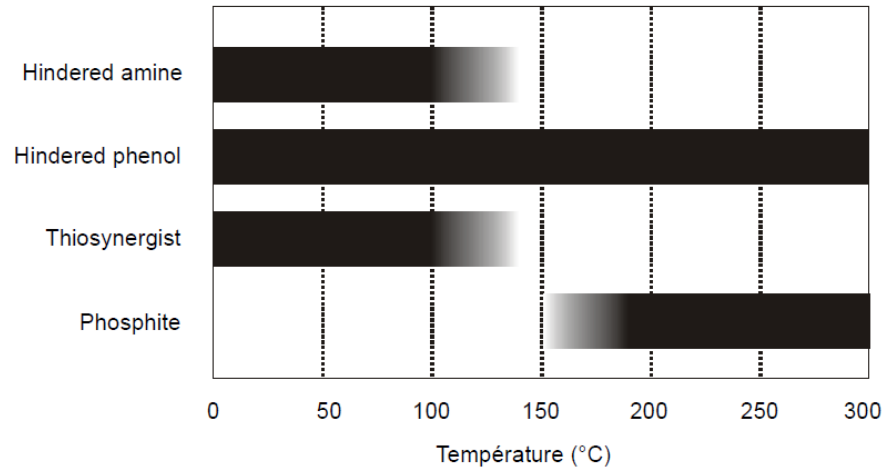


Figure III.3: Température de fonctionnement de différents d'antioxydants

III.6. Caractérisation Mécanique de la Géomembrane :

La différence de composition entre les différents types de géomembranes se traduit par des comportements mécaniques très variables. Cette variabilité est bien mise en évidence par les essais de traction unidirectionnelle.

Pour les géomembranes thermoplastiques, ces différences de comportement reflètent surtout la variabilité du taux de cristallinité. La géomembrane PEHD est cristalline.

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.

Les propriétés mécaniques sont à déterminer via des essais de traction unidirectionnels.

III.6.1. Eprouvettes et Conditions d'Essai :

Les essais mécaniques en traction nécessitent des éprouvettes normalisées. Par conséquent, dans le cas de la géomembrane un outil emporte-pièces sera utilisé pour découper les éprouvettes sur des échantillons de matériau brut.

Les essais seront réalisés dans les conditions normales de pression et de température.

III.6.2. Coubes Contrainte-Déformation caractéristique :

Les propriétés mécaniques caractéristiques usuelles telles que le module de Young, la contrainte au seuil d'écoulement, la contrainte au plateau de plasticité, la contrainte à la rupture et les déformations correspondantes sont à déterminer de la courbe contrainte-déformation telle que représentée ci-dessous.

III.6.3. Résistance mécanique :

Les qualités de résistance mécanique sont particulièrement importantes dans une application en renforcement. Les propriétés les plus importantes sont: le module de Young, la résistance au seuil d'écoulement, la résistance à la rupture et les taux de déformations y afférents, respectivement.

Aussi, il ya lieu de citer la résistance au poinçonnement, mais aussi le frottement, le fluageet le déchirement sur les cailloux pointus est le risque principal qui doit être géré à la mise en œuvre.

III.6.4. Contrainte au seuil d'écoulement :

Les polymères HDPE présentent une contrainte au seuil d'écoulement significatif. A partir de ce point, le matériau s'allonge et son épaisseur diminue sous contrainte. Le seuil d'écoulement a lieu à des déformations de 10-12%, alors la géomembrane présente un allongement à la rupture de 700-800%.

III.6.5. Résultats, Interprétation et Conséquences :

A propos des déformations limites:

– Une géomembrane déformée à plus de 100 % est plus sensible aux perforations et qu'elle peut ne plus être étanche;

– Une géomembrane soumise à une contrainte de traction peut être sensible aux effets de « stress-cracking» (fissuration sous contrainte), qui, sous certaines conditions chimiques, entraîne sa fissuration;

– Une grande déformation est donc fortement défavorable à l'efficacité et à la durabilité des géomembranes. Elles doivent donc être le moins possible sollicitées en traction.

Toutefois, bien que la géomembrane ne soit pas à considérer comme un élément renforçant ou résistant, même sur les talus, elle doit pouvoir se déformer dans des proportions raisonnables sans rompre, pour suivre d'éventuels tassements du support par exemple. C'est sur ce point que l'essai de traction apporte des informations utiles au dimensionnement puisqu'il permet d'orienter le concepteur vers tel ou tel type de matériau, en fonction d'éléments tels que la stabilité du support.

Le concepteur doit en effet surtout prendre en compte le comportement du matériau pour obtenir un bon niveau de fiabilité avec des déformations de l'ordre de 15 à 20 %.

III.7. Aspects Thermiques et Température de Transition Vitreuse :

Influence des températures extrêmes et variations de températures (***cas du Sud Algérien***).

Les variations de températures induisent des retraits et des dilatations de la géomembrane et peuvent induire

Des contrariantes permanentes ou ponctuelles, des plissements aux assemblages, des tractions sur les ancrages….etc.

Pour la prise en compte de ce phénomène, le fabriquant de la géomembrane doit indiquer la valeur du coefficient de dilatation thermique dans la fiche technique. Ce coefficient est de $10^{-4}/^{0}C$ à $20^{0}C$!!Mais la variation dimensionnelle a des conséquences très différentes en fonction du module et de l'épaisseur des géomembranes.

Les températures élevées accélèrent le vieillissement et augmente le fluage des géomembranes, ce qui peut conduire à protéger les surfaces exposées.

Outre les difficultés de mise en œuvre associées à la variation de souplesse, les basses températures ($\leq 0^{0}C$) fragilisent la géomembrane. La température de fragilisation est donnée par des essais de pliage à froid.

Les géomembranes sont assez stables pour les températures rencontrées sur sites. Deux températures extrêmes sont prises en compte : d'une part latempérature de transition vitreuse, qui est la limite entre l'état vitreux, où le matériau est cassant, et l'état viscoélastique, où il est souple (état« normal ») et dont la valeur doit rester inférieureà -30 °C ; d'autre part, la température de fusiondes géomembranes, qui est la limite entre l'étatviscoélastique et l'état fondu, doit être bien supérieure à 80 °C.

III.7.1. Chauffage: Chaleur de fusion :

Chaque plastique a une température optimale pour sa fusion, que nous devons vérifier avant de débuter le travail.

C’est la différence fondamentale entre les différents types de plastique, que nous devons connaitre et respecter, étant donné que des températures inférieures à celle indiquée nepermettront pas de finaliser le procédé de soudure et, si elles sont supérieures, elle provoquerait une dégradation du plastique.

III.8. Conception et spécification des géomembranes de polyéthylène vis-à-vis de la durabilité :

Les exigences de durabilité associées aux applications environnementales des polymères constituent un des critères de conception originaux du cahier des charges de tels matériaux.

En outre, il a aussi été identifié que le contrôle de la durabilité des géomembranes passe par la gestion de deux paramètres : la résistance à l’oxydation (thermo-oxydation ou photo oxydation), et la résistance à la fissuration sous contrainte.

D’un point de vue pratique, il n’est pas possible de déterminer de corrélation systématique entre les propriétés d’une géomembrane et leur durée de vie sur site, exprimée en années, du fait de la variabilité des expositions solaire, thermique, chimique, mécanique ou autre susceptibles d’être rencontrées par une géomembrane.

Chapitre IV : Soudage

IV-1 Introduction :

Le soudage des géomembrane est une étape inévitable dans la conception d'une étanchéisation .d'une part une seule feuille ne suffit pas pour recouvrir le site ; d'autre part, aucune alternative satisfaisante na vue le jour pour lie les feuillies entre elle a grand échelle

Il existe plusieurs technique pour le soudage des géomembrane PEHD, par les quelles sont obtenues des soudures de géométrie très variables , permettant souvent d'identifier le type de technique utilise .Ainsi le procèdes le plus courants sont les méthodes son matériaux d'apport « par fusion »,a Lair chaud au par élément chauffant (haut gaswelding et hot wedgewelding) et les méthodes avec matériau d'apport appelée soudage par extrusion, d'autre méthode sont disponible ,comme le soudage par réaction chimique (une réaction provoque entre les surface a souder) et le soudage par ultrason .

IV-2 Les techniques de soudage [09] :

La technique de soudage par élément chauffant donnant une soudure double séparez par un canal, a été utilisée, celle-ci est souvent reconnu comme étant la plus adéquater pour le soudage par fusion car le rôle de l'operateur et le moins sensible, cette méthode fournit des bonnes soudures pour un grand nombre de condition de sites.

La double soudure permet de teste la ligne de soudure de manière non destructive beaucoup plus facilement, même si les ressentes méthodes ultrasonique semblent réduit l'intérêt du canal entre les deux soudures.

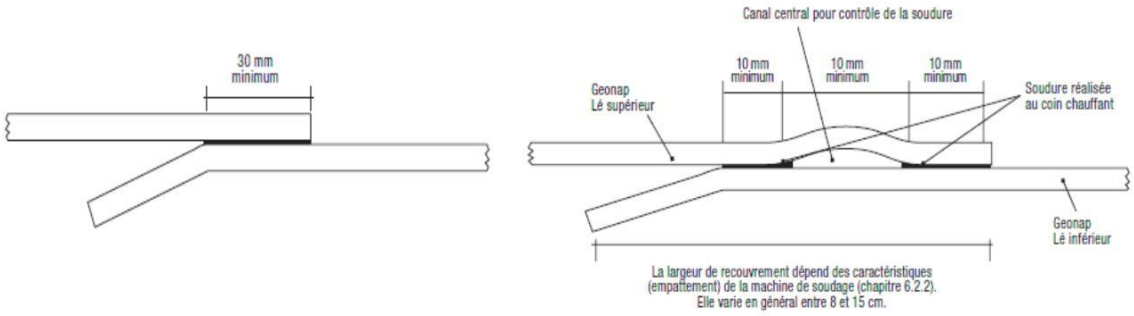


Figure IV.1. Soudures de géomembrane (Guide de pose géomembranes Siplast, 2005)

IV-3 Le soudage par fusion :

C'est une technique avec rapport directe de chaleur, le polyéthylène semi cristallin chauffe localement a une température supérieur à sa température de fusion passe à l'état visqueux, lorsque deux pièces ainsi chauffes sont serrées l'une contre l'autre, la diffusion des chaines moléculaire qui en résulte étrenne le soudage.

IV-4Le processus de soudage par élément chauffant :

Consiste à faire passer entre les deux feuilles une pièces de métal chauffée électriquement a une température de l'ordre de 375° à 400°C, qui transmit sa chaleur par conduction et par rayonnement ,et la vitesse a la quelle passe l'élément chauffant est la vitesse de soudage , dont l'ordre de grandeur de 1 à2 mètre par minute .ce procédé de soudage continue doit avoir pour effet de 20 à 30% de l'épissure des feuilles , la température de soudage T_s ,la température mesure par les thermocouple de l'élément chauffer et non la température àlaquelle les feuilles son fondues. Appris le passage de l'élément chauffant qui touche la surface des géomembranes les seront mise en contact est soumise à une force, appelée « force de soudage », favorise l'interpénétration du polymère fondu.

IV.5.Spécificité des opérations de soudage PEHD [10] :

IV.5.1Préparation des lés PEHD :

Les lés sont déroulés et positionnés le plus souvent à l'aide d'une pelle compte tenu du poids élevé des rouleaux. Les bandes de soudage doivent être propres et sèches. Certains fournisseurs placent une protection en polyane sur cette bande de soudage. Il est important de l'enlever dans sa totalité sous peine de générer un problème de soudage.

IV.5.2.Procédés et matériel de soudage :

Le PEhd est un polymère dont la soudure est réalisée thermiquement selon deux procédés :

a) La thermofusion : utilisée pour la soudeuse.

b) l'extrusion (apport de matériau) ; utilisée pour les pièces apportées, les réparations locales et lescroisements de soudures.

Les matériels utilisés sont ainsi de deux types :

- Des machines automatiques à coins chauffants ou à air chaud permettant la réalisation de la double soudure avec son canal de contrôle,
- L'extrudeuse permettant l'apport de PEhd sous forme de fil ou de granulés.

Sur un ouvrage classique, la thermofusion représente environ 95 % du linéaire soudé.

Figure IV.2. Vue de la machine « COMET »Figure IV.3 Vue de la même machine pendant Utilisée pour le soudage des PEHD le soudage d'un corps en PEHD

IV.5.3. Réglages des machines :

Le soudage du PEhd est très sensible aux conditions extérieures et à leurs variations. Avant toute réalisation de soudures, il convient par un essai préalable de vérifier que les caractéristiques géométriques et mécaniques obtenues sont conformes aux spécifications de la profession. Pour chaque machine à souder, il doit être réalisé le matin et en début d'après-midi, au minimum, un essai de ce type. Cette fréquence doit être adaptée aux variations de la température ambiante. Il semble raisonnable de considérer qu'une modification de la température ambiante de 7 à 8 °C par rapport aux conditions du précédent réglage, impose un nouveau calibrage des machines. L'essai consiste à réaliser une soudure d'environ 1 m de long en déterminant les paramètres de soudage les mieux adaptés au matériau (épaisseur, raideur,…) et aux conditions extérieures (prise en compte de la température, de l'hygrométrie, du vent). Ces paramètres sont la température, la pression et la vitesse de soudage. Après refroidissement la soudure est testée en traction-pelage et/ou traction cisaillement à l'aide d'un tensiomètre de chantier étalonné.

IV.5.4 Assemblage et soudage des lés :

Le soudage ne peut être effectué en dehors des plages de température recommandées par la profession, sous la pluie ou par vent important.

Les lés ayant une longueur de l'ordre de 100 m et les machines à souder avançant à une vitesse comprise entre 1,3 et 2,5 m/min, la durée de soudage de deuxlés varie en général entre 1h et 40 min. Il peut dans cette durée se produire une variation importante de la température du matériau, notamment l'été et le soudeur doit être en mesure d'anticiper et de gérer ces variations qui se manifestent par des dilatations ou des retraits importants des lés (risque de blocage de la machine lors des dilatations et d'absence d'un des cordons de soudure lors du retrait). Ces variations de températures étant effectives également entre le matin et le début d'après-midi(concerne par exemple deux lés voisins qui ne sont pas à la même température), ou encore entre l'hiver et l'été (concerne la totalité de la géomembrane posée), il convient d'adapter les horaires de soudage en fonction de la température ambiante (qui doit rester comprise entre 5 et 35 °C lors du soudage).

IV.5.5 Soudage des « pièces rapportées » :

Elles sont généralement exécutées par extrusion. Ce procédé, délicat à mettre en œuvre, nécessite un meulage préalable des surfaces à assembler afin d'éliminer la couche de surface oxydée puis le dépôt d'un cordon d'extrusion dans la zone meulée. Cette technique estégalement utilisée sur de faibles linéaires, lorsque la géométrie ne permet plus le passage des machines.

IV.6 Contrôle des soudures :

Les soudures doivent être contrôlées à l'avancement, après refroidissement, afin de détecter au plus vite un éventuel dysfonctionnement dans les opérations de soudage. Lorsqu'il y a une fuite, ou décollement, il importe de localiser le défaut afin d'adapter la technique de réparation qui peut aller jusqu'à la reprise totale de la soudure sur 100 m. Dans la majorité des cas, lesdéfauts ponctuels d'étanchéité sont repris par une pièce rapportée extrudée.
Les réparations sont ensuite contrôlées.

On a deux types de contrôles peuvent être effectués sur les soudures :

·♦ un contrôle de la totalité des soudures, qui va mobiliser des moyensParticuliers en matériel et en personnel.
♦ un contrôle statistique portant sur un pourcentage déterminé du linéaire des soudures, en s'attardant éventuellement sur les points délicats, et en prévoyant une procédure de resserrement de la maille de contrôle en cas de défauts constatés.
La première méthode de contrôle relève de la procédure d'autocontrôle (ou contrôle intérieur interne).

IV.6.1. Contrôles Non-Destructifs

IV.6.1.1.SIMPLES SOUDURE

A) Cloche à vide :

La cloche à vide est un moyen de contrôler l'étanchéité, mais ne renseigne pas sur la résistance mécanique de la soudure. Par l'intermédiaire d'une pompe à vide, une dépression de 200 à 400 mbar est appliquée à l'intérieur d'une cloche en plexiglas. Le bord de la soudure a été au préalable mouillé par une solution de savon, et une fuite se traduira par l'apparition de bulles.

Figure IV.4 utilisation de la cloche à vide.

Figure IV.5 Cloche à vide.

B) Lance à air comprimé :

La tête d'une lance à air comprimé passée au niveau de la lèvrede la soudure mettra en évidence de la même manière que lapointe sèche une discontinuité débouchant de la soudure, quise traduit par un battement de la nappe supérieure.Cette méthode est relativement lente (la dépression devant êtremaintenue pendant une vingtaine de secondes sur chaquepoint).

Cette méthode est donc recommandée pour un contrôlestatistique, et en particulier sur les points singuliers (pointstriples), qui peuvent présenter des difficultés d'assemblage ousur les raccordements sur structure en béton

IV.6.1.2 DOUBLES SOUDURES :

Ce procédé ne s'applique qu'aux soudures réalisées sur des géomembranes de type PEhd, PVC-P et PP-F. Il est généralement réalisé à l'air comprimé mais est également réalisé au liquide coloré pour les géomembranes en PVC translucides utilisées essentiellement en matière de travaux souterrains.

Il est toutefois à noter que ce type d'essai doit être complété par des essais destructifs pour justifier les caractéristiques mécaniques des soudures.

Méthodologie :

Après avoir réalisé une soudure d'une certaine longueur, on introduit dans le canal central de l'air comprimé (ou un liquide coloré) et l'on vérifie, à l'autre extrémité, le bon écoulement pour confirmer la non obstruction.

Après avoir bouché une extrémité du canal, on introduit l'air comprimé (ou le liquide) par l'autre bout à une pression de l'ordre de 1 à 2 bars selon l'épaisseur de la géomembrane.

Lors de l'essai, on vérifie qu'après quelques minutes (3 à 5 mn) en pression, la baisse est inférieure à 10 %. Si la chute de pression est supérieure, l'essai doit être poursuivi jusqu'à stabilisation complète de la pression. En cas de non stabilisation, la soudure doit être considérée comme défectueuse.

Cette méthode permet la vérification de l'étanchéité de la totalité des soudures, contrairement aux contrôles destructifs qui ne peuvent être effectués, par définition, questatistiquement. Les défauts de soudure donnent lieu à repérage et à réparation et sont testés à nouveau, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, avec repérage des tests sur le plan de calepinage.

IV.6.2 Contrôles destructifs :

Les contrôles destructifs des soudures consistent à vérifier par des essais mécaniques la résistance des soudures. Deux types d'essais sont appliqués selon la famille de produit considérée :

- L'essai de traction-cisaillement (NF P 84-502 (1)) qui consiste à exercer une traction entre la géomembrane supérieure et la géomembrane inférieure ce qui sollicite la zone de soudure en

cisaillement. Cet essai est applicable au PEhd, au PVC-P, aux géomembranes bitumineuses et à l'EPDM,

- L'essai de traction-pelage (NF P 84-502 (2)) qui consiste à exercer par pelage une tentative de décollement des deux géomembranes. Cet essai est applicable au PEhd, au PP-F, au PVC-P et à l'EPDM.

Ces essais peuvent être réalisés soit sur chantier, grâce à des tensiomètres portables (essais non normalisés), soit en laboratoire, en conformité avec les normes françaises.

♣Essais sur chantier :

Uniquement pour PEhd, PVC-P et PP-F

Les essais destructifs réalisés sur chantier sont faits soit dans le cadre de la vérification des paramètres de soudage (réglages du matin et de l'après-midi) soit dans le cadre de prélèvements effectués sur les soudures du site. Ces essais sont pour la plupart réalisés sur 3 éprouvettes et dans les conditions de température du site (éventuellement à l'abri en cas de vent ou de froid). Il s'agit donc d'un essai non normalisé utilisé par l'équipe de soudage dans le cadre de son autocontrôle et/ou par le contrôle externe.

♣♣ Essais en laboratoire :

Les essais de traction-cisaillement et traction-pelage sont réalisés en laboratoire dans le cadre de l'application stricte des normes, les essais sont réalisés après un conditionnement de 24 h minimum à 23 °C, dans les conditions et selon les modes opératoires décrits dans les normes. Concernant les critères on se reportera pour chaque famille de produit aux recommandations du C.F.G.

IV.7.Conclusion

Dans ce chapitre on a parlé sur les déférentes méthodes de soudage de la géomembrane et les technique utiliser pour le contrôle de la qualité de la soudure, en conclu que les teste non destructifs ne sont pas suffisant pour contrôle la qualité de la soudure c'est pour cela que on procède ou teste destructifs pelage et cisaillement.

Partie pratique

Chapitre I.1 : dispositifs expérimentaux et élaborations des éprouvettes

I. Introduction

Dans cette partie on s'intéresse, à la fois à la réalisation des différents échantillons et au comportement mécanique des géomembranes PEHD soumises à une traction uniaxiale, un essai de poinçonnement et à la fin un essai physico-chimique et pour les géomembrane soudée il sera soumise un essai de pelage et cisaillement

I-1 la réalisation des échantillons

I-1-1 présentation de la matière première PEHD :

La matière première utilisée est le PEHD de type PE utilisé pour la fabrication des géomembranes qui a pour rôle de l'étanchéité dont la fiche technique est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau. I-1 : fiche technique du PEHD :

Propriétés	Méthode d'essai	Unité	PEHD
PHYSIQUES - Masse volumique. - Taux de cristallinité. - Masse molaire moyenne.		g/cm³ % g/mol	0.925-0.956 75 – 80 10000
MECANIQUES - Contrainte à la Rupture. - Module de traction. - Module de flexion. - Dureté (shore).	BS.2782 :301.E	MPa MPa MPa Échelle D	13 – 25 200 – 300 60 – 400 41 - 60
THERMIQUES - T° de fusion. - T° Vicat. - Tg. - Plage de T° de résistance. - Retrait au moulage.	BS.2782 : Pt.2 ASTM : D955-51	°C °C °C °C %	120 - 136 85 – 87 Environ –110 De – 70à + 60 1.5 – 3.5
ELECTRIQUES - Cte diélectrique 1MHz. - Résistivité volumique.	BS.2782 : Pt.2	Ω.cm	2.25 – 2.35 $> 10^{18}$

I-1.2 Réalisation des éprouvettes de la geomembrane pehd non soudée :

Les échantillons utilisés sont sous forme de films de dimension ***140 mm*5,65 mm*2 mm*** de section s_0 = 11.3 mm^2 et avec L_0 = 65 mm (figure…..)

Ces éprouvettes sont découpées à l'aide d'un balancier et d'un emporte-pièce normalisé comme la montre la figure ….

Dont la réalisation des éprouvettes et le matériau sont gracieusement offert par le **CNTC (centre national de textile et du cuir)**

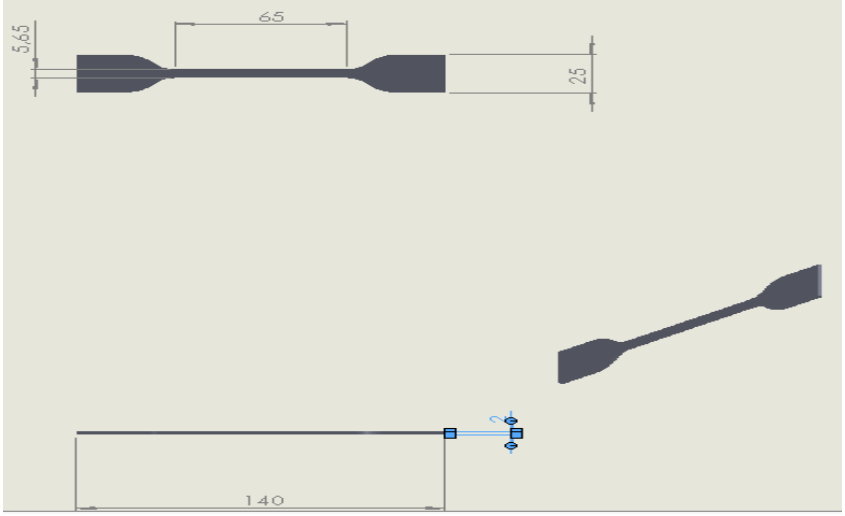


Tableau I-2 Les dimensions des éprouvettes utilisées :

Dimension des éprouvettes	**Valeurs**	**unité**
Longueur entres repères (L_0)	65	mm
Largeur (l)	5,65	mm
Epaisseur (e)	2	mm
Section initial (s_0)	11,3	mm^2

I-1.3 Réalisation des éprouvette de la géomembrane PEHD soudée avec canal central ouvert et obture :

Les échantillons utilise sent des géomembranes soudée avec des dimensions 150mm*30mm*2mm avec une **section** s_0 **=30** mm^2 et avec $L_{0=}$ 90mm pour l'essai de cisaillement, L_0 =50mm pour le pelage

Ces éprouvettes sont découpées à l'aide d'un balancier et d'un emporte-pièce normalisé

Comme le montre la figure

Figure I.1 Représentation de l'éprouvette normalisée géomembrane PEhd soudée

I.1.3.a Préparation des éprouvettes de la géomembrane PEHD non soudée :

Afin de déterminer les caractéristiques mécaniques usuelles de la géomembrane PEhd non soude on a choisi de faire l'essai de traction avec une vitesse de sollicitation constante (V=10mm/min) avec deux angle de découpe un longitudinal ($\theta=0^o$) et l'angle transversal ($\theta=90^o$).

I.1.3.b Préparation des éprouvettes de la géomembrane PEHD soudée :

Pour détermine les caractéristiques mécanique de la géomembrane PEhd soudée on a choisi de faire l'essai de cisaillement et pelage avec une vitesse de sollicitation constante (V=10mm/min)

I.2. Machine d'essai de traction :

Pour l'exécution des essais de traction nous avons utilisé la machine de traction IBERTEST mode UIB.100/W qui se trouve au niveau du laboratoire de RDM de génie Mécanique, faculté de Génie de la Construction de l'UMMTO (Figure II.9).

C'est une machine universelle qui permet d'exécuter des essais de traction, compression, Flexion …etc. Sa capacité de chargement est de 100 KN.

L'installation est composée de deux parties :

1. Bâti d'essais
2. Système de contrôle et d'acquisition des données

Figure I.2 Machine d'essai de traction

I 2.1. Exécution des essais de traction :

Après la mise en marche de la machine de traction qui est reliée à un ordinateur et à l'aide d'un logiciel WINTEST on saisit les informations nécessaires à l'essai telles que :

1. Vitesse de chargement : 10 mm/mn pour tous les essais.

2. Les dimensions de l'éprouvette.

3. La température ambiante : 25°C.

On place l'éprouvette entre les mors de la machine en prenant soin d'aligner l'axe longitudinal de l'éprouvette avec l'axe de la machine d'essai. Une fois l'éprouvette est placée,

On impose un déplacement de la traverse supérieure à la vitesse de 10mm/min. Ce déplacement

Est contrôlé par un système hydraulique. A la fin de l'essai, après la rupture de l'éprouvette,

Le logiciel WINTEST nous fournit directement le diagramme représentant l'évolution de la force en fonction du déplacement (Force [KN] - Course [mm]) par un système informatique.

I.2.2. Principe de l'essai de traction :

Cet essai destructif consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction, et cela

généralement jusqu'à rupture.

L'éprouvette utilisée de géométrie parfaitement définie est encastrée à ses deux extrémités dans des mors ou des mâchoires. L'un de ces mors est fixe. L'autre est mobile et relié à un système d'entrainement à vitesse de déplacement imposée ainsi qu'à un système dynamométrique.

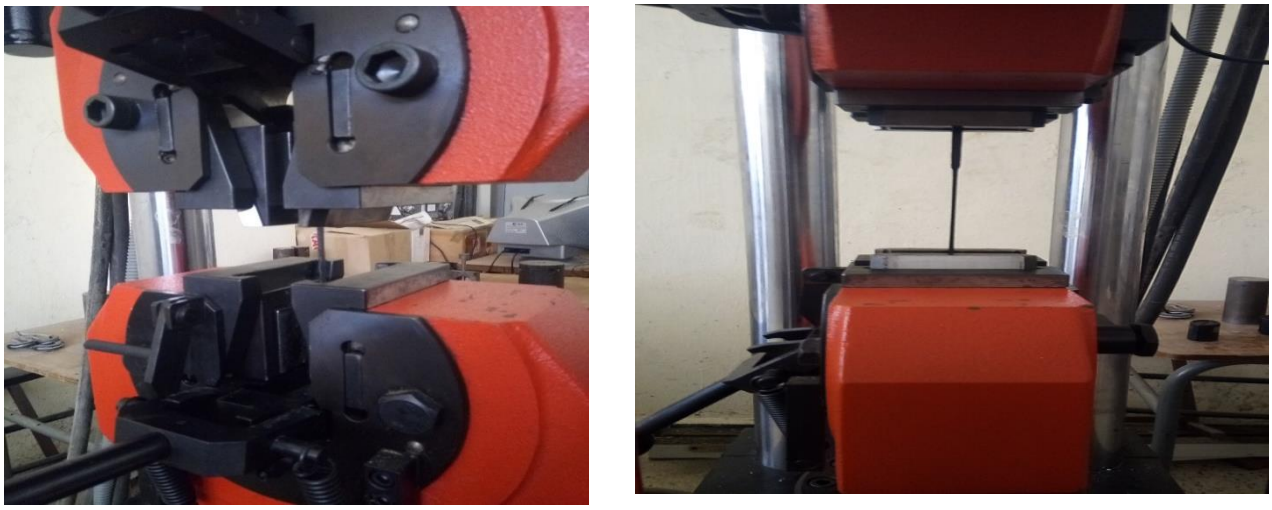


Figure I-4. Machine à traction de type ibertest

Figure I-5. Eprouvette à l'état initial

Figure I-6 : Eprouvette apres traction à un taux de déformation de plus de 100%

I.2.3 Principe de l'essai de cisaillement

Cet essai destructif consiste à exercer une traction entre la géomembrane supérieure et la géomembrane inférieure ce qui sollicite la zone de soudure en cisaillement comme le montre la figure ….

Figure I.7 éprouvette après l'essai de cisaillement

Figure I.8 éprouvette avant l'essai de cisaillement

I.2.4 Principe de l'essai de pelage :

Cet essai destructif Consiste à exercer par pelage une tentative de découlement des deux géomembrane soudée, comme le montre la figure …..

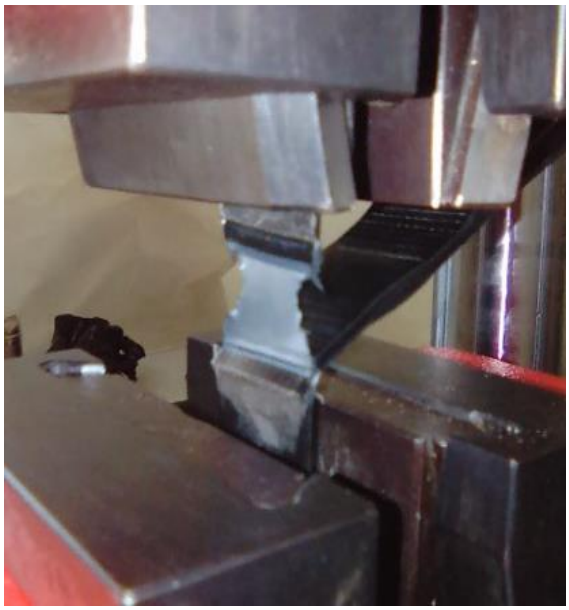


Figure I.9 éprouvette en mode pelage Avant rupture

Figure I.9 éprouvette en mode pelage après rupture

Chapitre II. Caractérisation de la géomembrane PEHD

Chapitre 2. Caractérisation de la géomembrane PEHD

Introduction :

On s'intéresse ici à la caractérisation mécanique de la géomembrane PEHD utilisé dans une station d'épuration des eaux usées. Cette géomembrane est utilisée pour assurer l'étanchéité des ouvrages de génie civil réalisés et qui constitue l'ensemble de la station, elle-même composée de plusieurs bassins.

La caractérisation mécanique a pour objectif de déterminer les propriétés mécaniques caractéristiques usuelles telles que le module de Young, la contrainte au seuil d'écoulement, les contraintes aux plateaux de plasticité, la contrainte à la rupture et les taux de déformation correspondants de la géomembrane non soude et soude.

Connaissant les conditions d'utilisation de la géomembrane, nous nous sommes intéressés aussi à la détermination de la résistance au poinçonnement.

Il reste entendu qu'après la détermination des tous ces paramètres, une analyse de ces derniers sera engagée afin de commenter tous les aspects phénoménologiques qui s'y présentent.

II-1. Caractérisation mécanique via des essais de traction uniaxiale :

Afin de caractériser la géomembrane dans son ensemble et comprendre son comportement lors de l'utilisation, nous avons découpé des éprouvettes dans deux directions telles que : $\theta=0°$ et $\theta=90°$.

Ensuite ces éprouvettes sont sollicitées à vitesse de traction constante : V=10mm/min.

Enfin les essais sont menés selon un protocole paramétrique associé aux deux angles de découpe et à vitesse de sollicitation constante.

II.2.1. Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique (θ=0º;V=10mm/mn) :

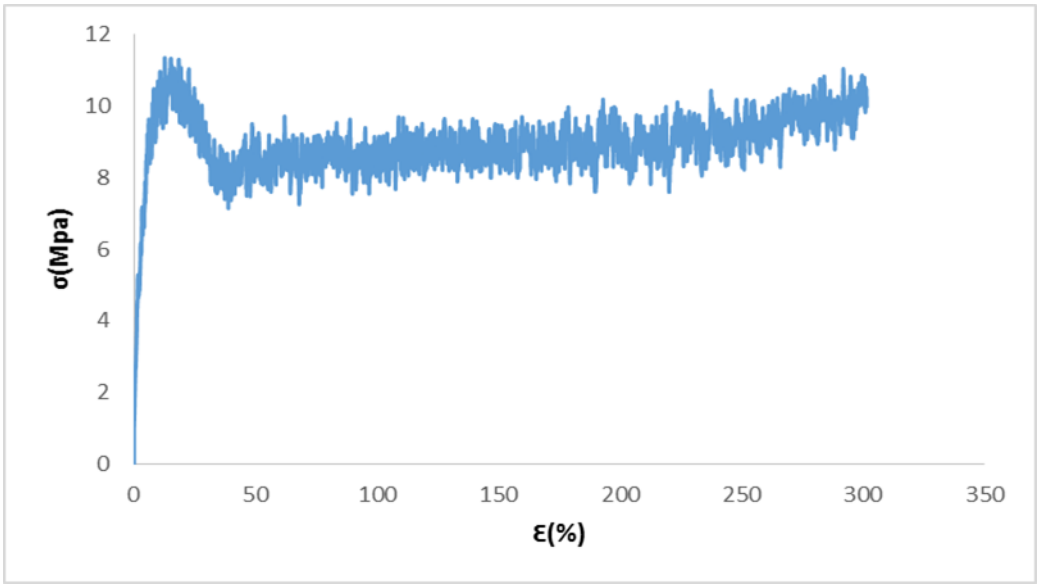


Figure II.1 Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=10 mm/min) et angle de découpe constant (θ=0°)

II.2.2 Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique (θ=90º;V=10mm/mn) :

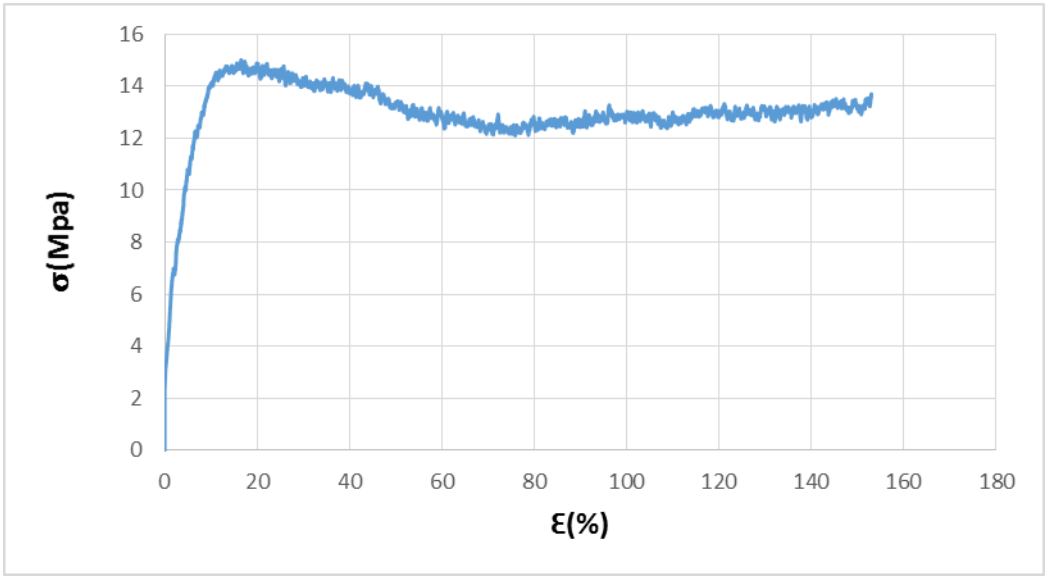


Figure II.2 Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=10 mm/min) et angle de découpe constant (θ=90°)

II.2.3 Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique (θ=90ºet θ=0º;V=10mm/mn) :

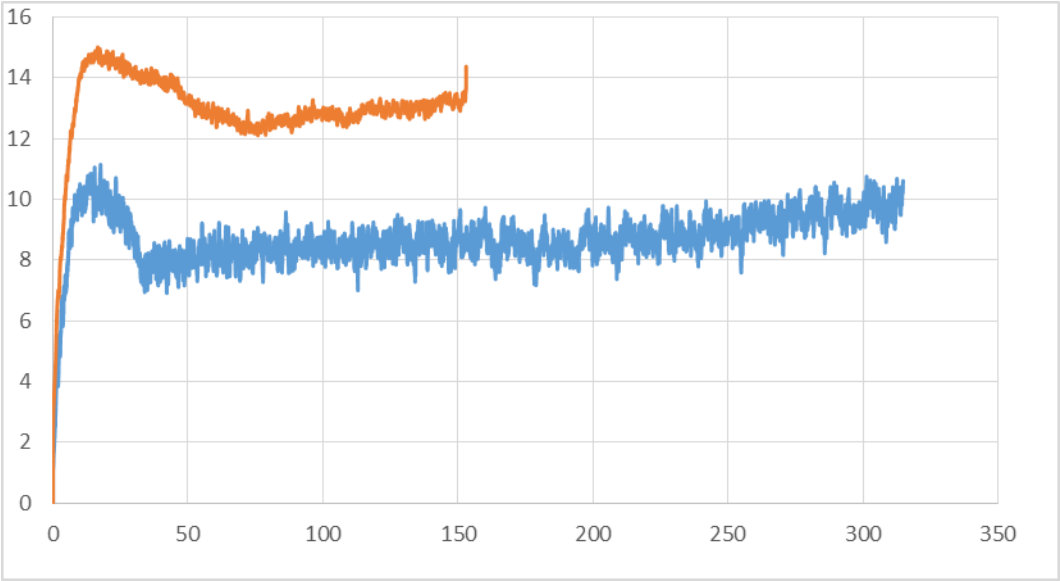


Figure II.3 Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=10 mm/min) et angle de découpe constant (θ=0°et θ=90º)

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées selon le protocole paramétrique (θ=0º et θ=90º ; V=10mm/min) présentent un comportement élasticoviscoplastique caractérisé par des zones spécifiques à savoir une zone élastique, une zone visqueuse et une zone plastique.

Quant aux propriétés mécaniques usuelles, elles sont données au tableau II.1, ci-dessous.

Les résultats obtenus sont en accord avec les références usuellement admises et les normes en vigueur.

Tableau II.1 propriétés mécaniques d'une géomembrane soumis à une traction avec une vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

	propriétés mécaniques								
angle de Sollicitation	σy(Mpa)	σp(Mpa)	σpd(Mpa)	σpf(Mpa)	εy(%)	εp(%)	εpd(%)	εpf(%)	E(Mpa)
0°	11,14	8,42	7,36	9,98	17,61	170,61	39,93	301,4	86,24
90°	15,01	12,83	12,27	13,69	16,58	113,23	73,44	153,02	106,98

II.3.Courbe contrainte déformation en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal le central ouvert

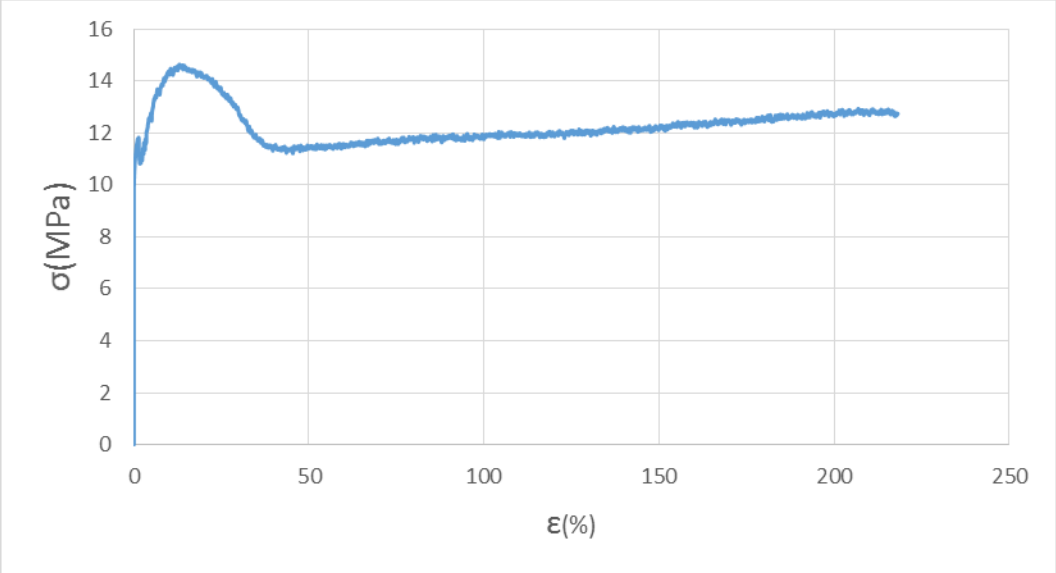


Figure II.4 courbe contrainte déformation (en mode cisaillement) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert

II.3.1Courbe contrainte déformation en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme

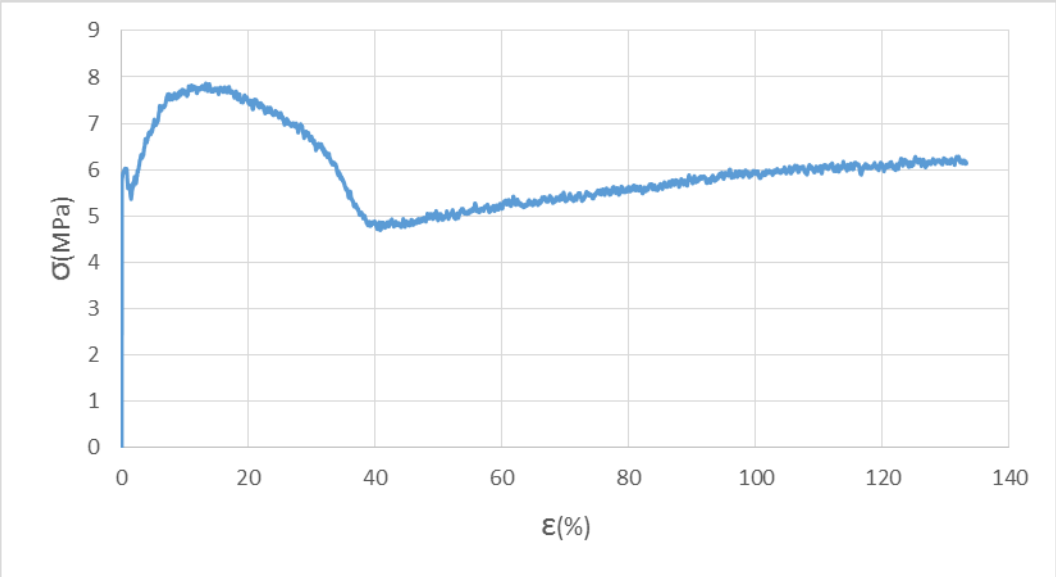


Figure II.5 courbe contrainte déformation (en mode cisaillement) de la géomembrane soudée avec canal central obture

II.3.2.Courbe contrainte déformation en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme et ouvert.

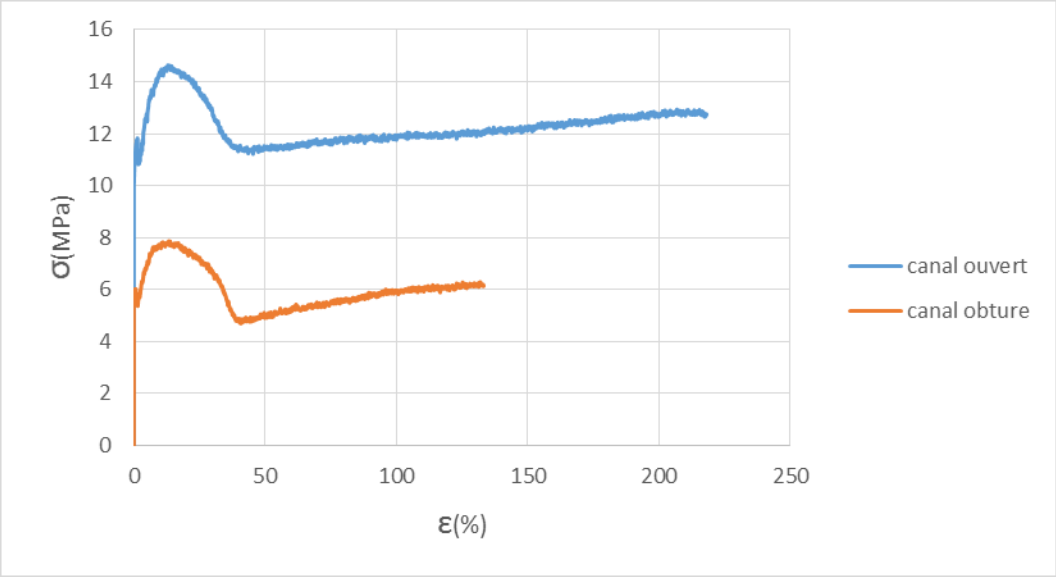


Figure II.6 courbe contrainte déformation (en mode cisaillement) de la géomembrane soudée avec canal central obture et ouvert

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées en traction uniaxiale, en mode cisaillement, présentent un comportement élasticoviscoplastique caractérisé par des zones spécifiques à savoir une zone élastique, une zone visqueuse et une zone plastique.

Selon les graphiques de la figure II.6 il est clairement montré que les propriétés mécaniques de la géomembrane soudée avec canal central ouvert sont notablement meilleures que celles associées au canal central ferme

Quant aux propriétés mécaniques usuelles, elles sont données au tableau II.2, ci-dessous.

Les résultats obtenus sont en accord avec les références usuellement admises les normes en vigueur.

Tableau II.2 propriétés mécaniques de la géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture en mode cisaillement avec une vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

	propriétés mécaniques								
	σ_y(Mpa)	σ_p(Mpa)	σ_{dp}(MPA)	σ_{pf}(Mpa)	ε_y(%)	ε_p(%)	ε_{dp}(%)	ε_{pf}(%)	E(Mpa)
canal ouvert	14,64	12,05	11,26	12,74	12,97	131,76	45,36	218,17	0,25
canal obture	7,85	5,64	4,84	6,13	13,26	86,46	39,68	133,25	0,28

II.3.3 Courbe contrainte déformation, en mode pelage, a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert

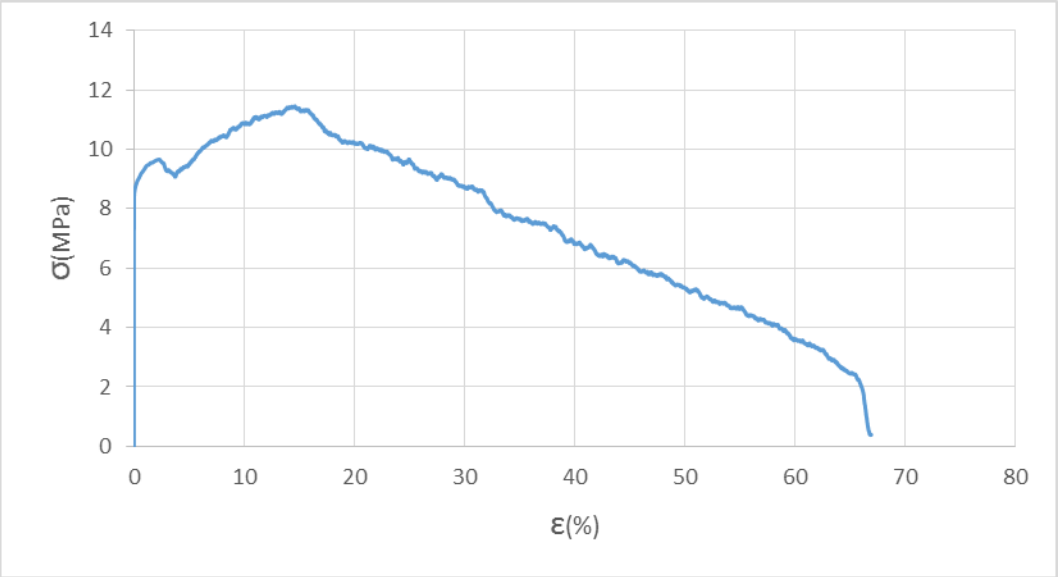


Figure II.7.courbe contrainte déformation (en mode pelage) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert

II.3.4Courbe contrainte déformation, en mode pelage, a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme

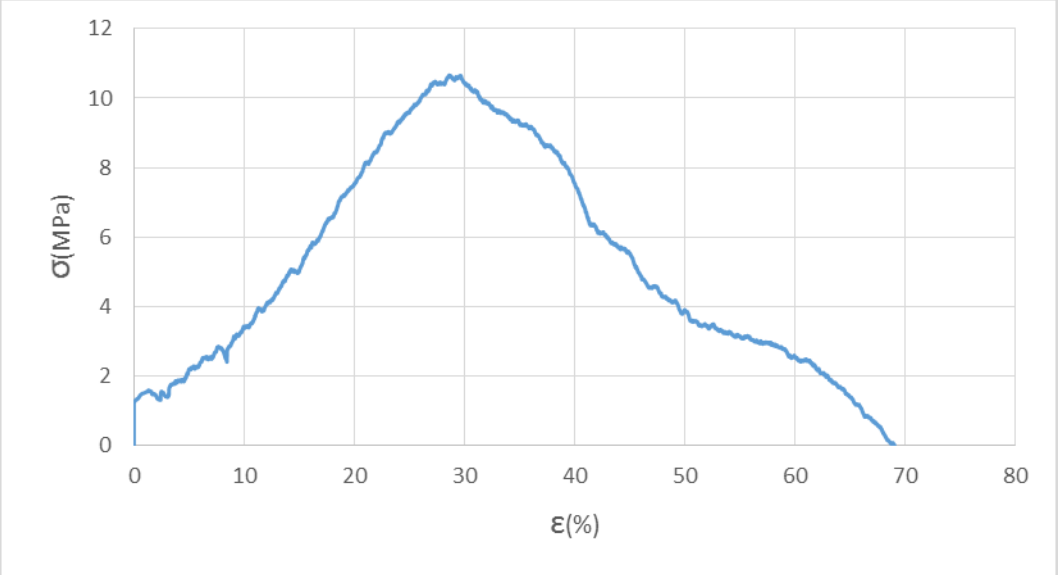


Figure II.8.courbe contrainte déformation (en mode pelage) de la géomembrane soudée avec canal central obturé

II.3.5Courbes contrainte-déformation en mode pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ferme et ouvert

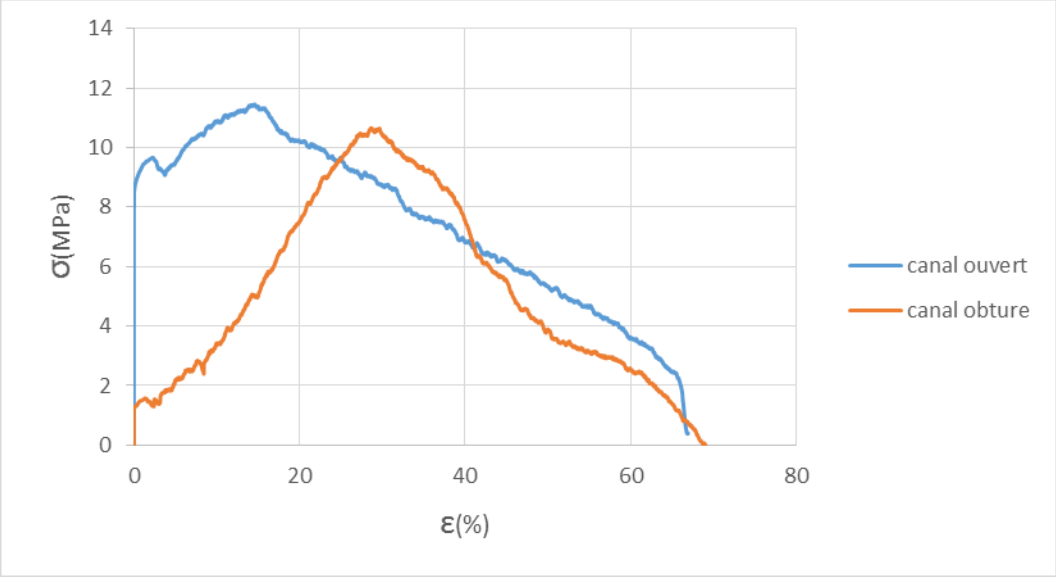


Figure II.9 courbe contrainte déformation (en mode pelage) de la géomembrane soudée avec canal central obture et ouvert

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées en traction uniaxiale, en mode pelage, présentent un comportement élasticoviscoplastique caractérisé par des zones spécifiques à savoir une zone élastique, une zone visqueuse et une zone plastique. Cependant les profils des courbes ne présentent pas des allures conventionnelles et ce, compte tenu de la présence de la soudure au milieu de l'éprouvette

Selon les graphiques de la figure II.9, il est clairement montré que les propriétés mécaniques de la géomembrane soudée avec canal central ouvert sont notablement meilleures que celles associées au canal central ferme

Quant aux propriétés mécaniques usuelles, elles sont données au tableau II.3, ci-dessous.

Les résultats obtenus sont en accord avec les références usuellement admises et les normes en vigueur.

Tableau II.3 propriétés mécaniques de la géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture en mode pelage avec une vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

	propriétés mécaniques								
	σy(Mpa)	σp(Mpa)	σdp(MPA)	σr(Mpa)	εy(%)	εp(%)	εdp(%)	εr(%)	E(Mpa)
canal ouvert	11,64	6,44	10,31	0,39	14,61	42,74	18,57	66,92	0,2
canal obture	10,66	3,31	8,64	0,005	28,61	53,17	37,24	69,01	0,41

II.4.Courbe contrainte déformation en modes pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central ouvert

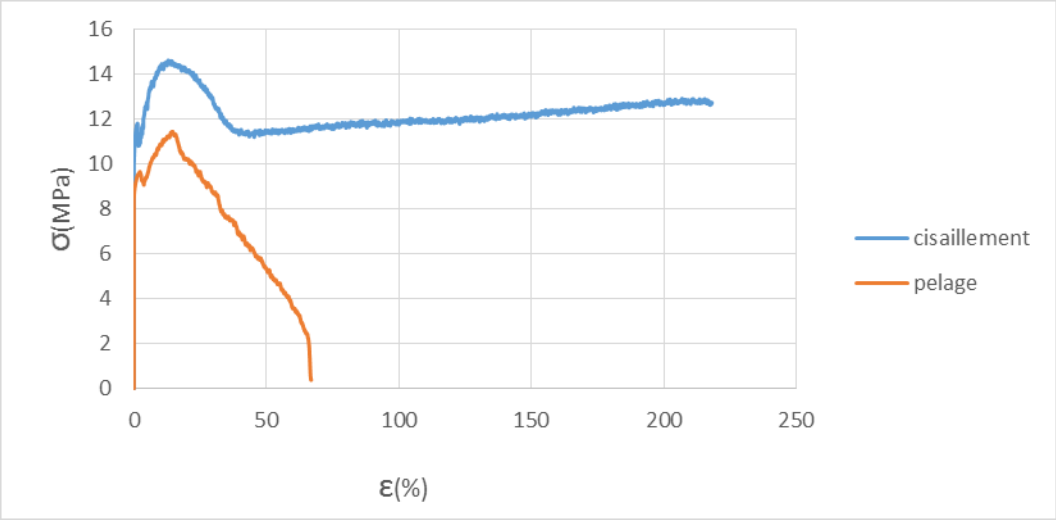


Figure II.10 courbe contrainte déformation d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert

II.4.1Courbe contrainte déformation en modes pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min) de la géomembrane soudée avec canal central obture

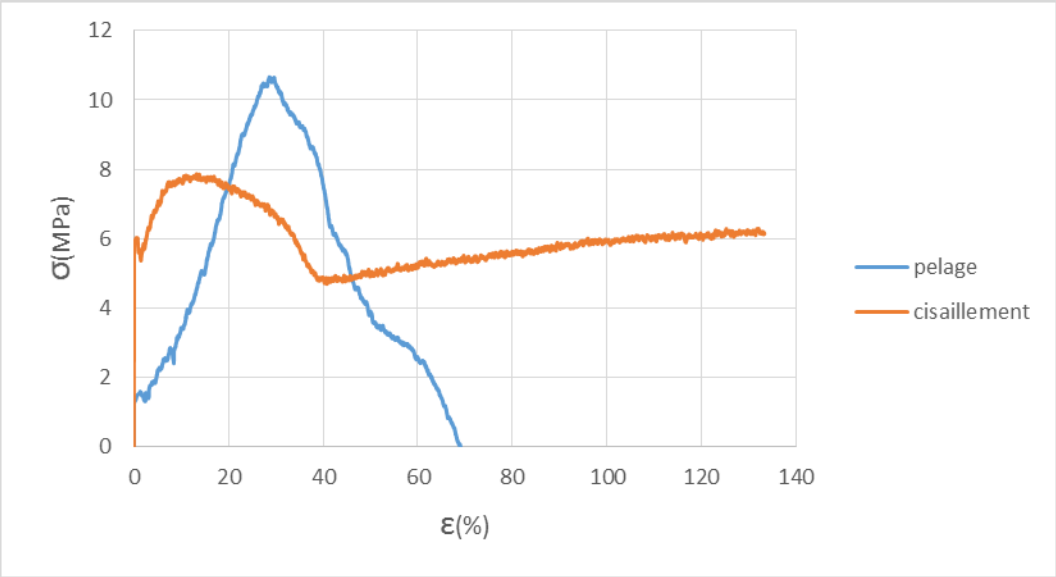


Figure II.11 courbe contrainte déformation d'une géomembrane soudée avec canal central obture

Pour des raisons évidente de comparaison entre les modes de cisaillement et pelage, nous avons superpose les courbes correspondantes afin de comparer les profils des évolutions des comportements. Ainsi, il est clairement montre que les modes cisaillement et pelage présentent des comportements différents compte tenu de la nature des éprouvettes soudées.

Le mode cisaillement présente un comportement elasticoviscoplastiaque spécifique au thermoplastique. Par contre, le mode cisaillement présente un comportement compose spécifique au test de pelage.

II-5 Comparaison des propriétés mécaniques usuelles entre les modes cisaillement et pelage.

II-5.1. Sollicitation en mode cisaillement : Canal ouvert et ferme

II.5.1.a.Histogramme module de young E(MPa)

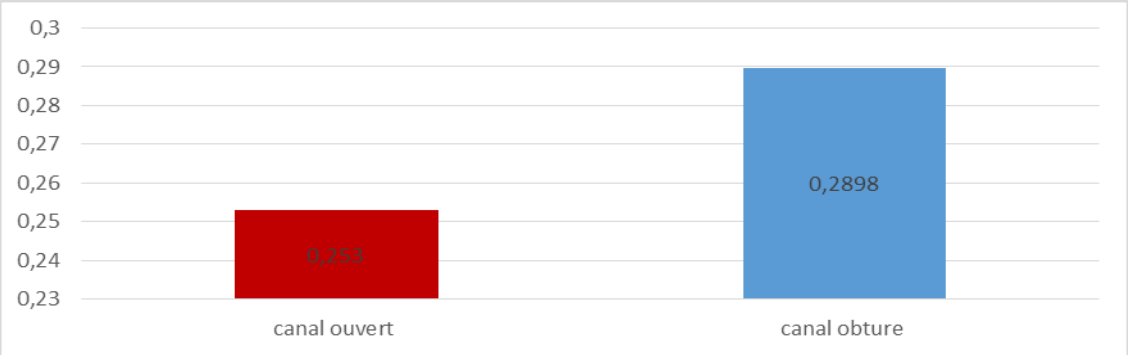
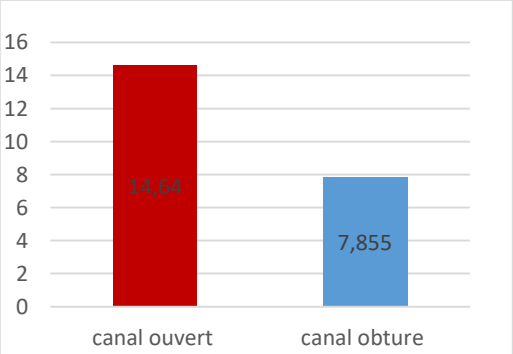


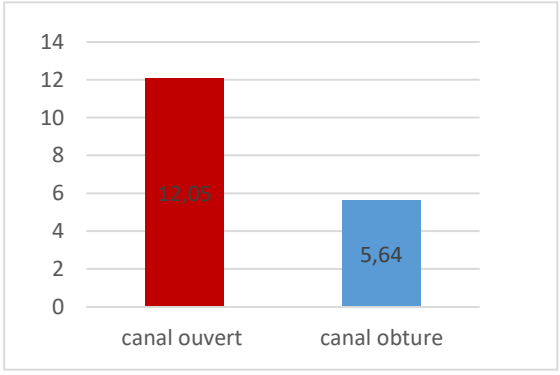
Figure II.12 histogramme de module d young en mode cisaillement avec canal central ouvert et obture

II.5.2 Histogramme comparatif des contraintes de la géomembrane soudée en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.5.2.a Contraintes au seuil d'écoulement et plastique en mode cisaillement



FigureII.13 histogramme des contraintes au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture



FigureII.14 histogramme des contraintes plastiques d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II.5.2.b.contraintes début de plasticités et fin de plasticités

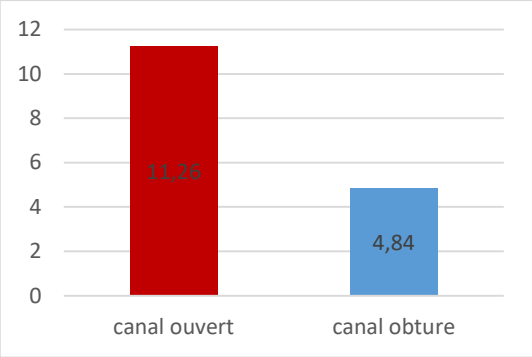


Figure II.15 histogramme des contraintes au début de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

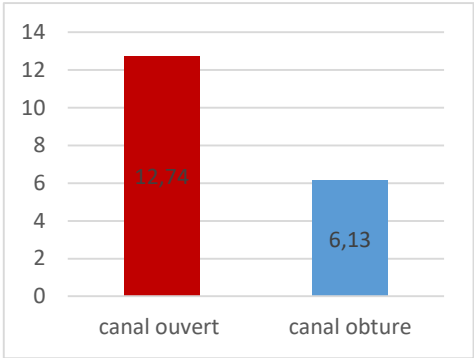


Figure II.16 histogramme des contraintes fin de plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II.5.3. Histogramme comparatif des déformations de la géomembrane soudée en mode cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.5.3.1.Deformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode cisaillement

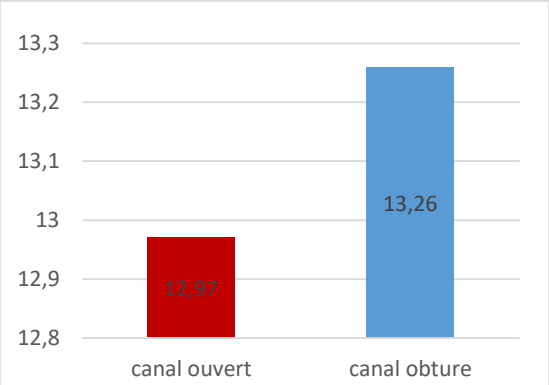


Figure II.17 histogramme des déformations au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

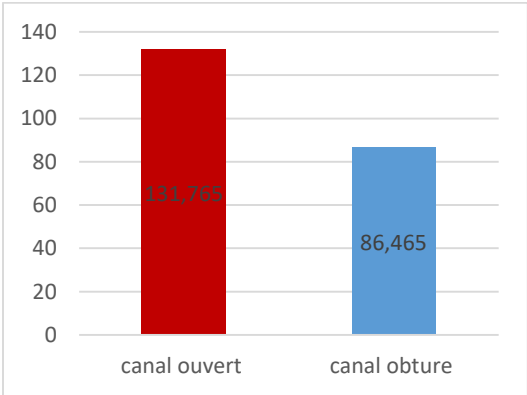


Figure II.18 histogramme des déformations plastique d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II.5.3.2.Deformations correspondant aux contraintes début de plasticités et fin de plasticités

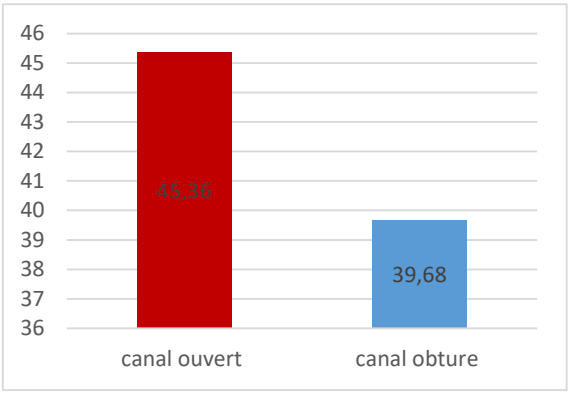


Figure II.19. Histogramme des déformations début de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

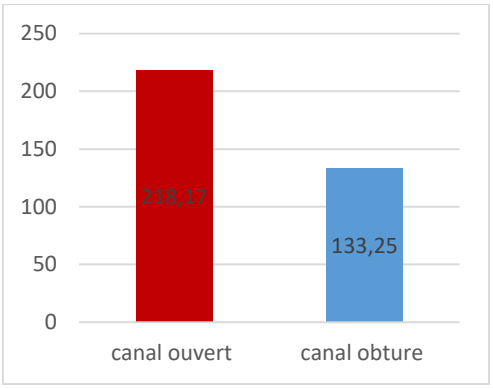


Figure.II.20. Histogramme des déformations fin de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II-5.4. Sollicitation en mode pelage : Canal ouvert et ferme

II-5.4.a.Histogramme module de young E(MPa)

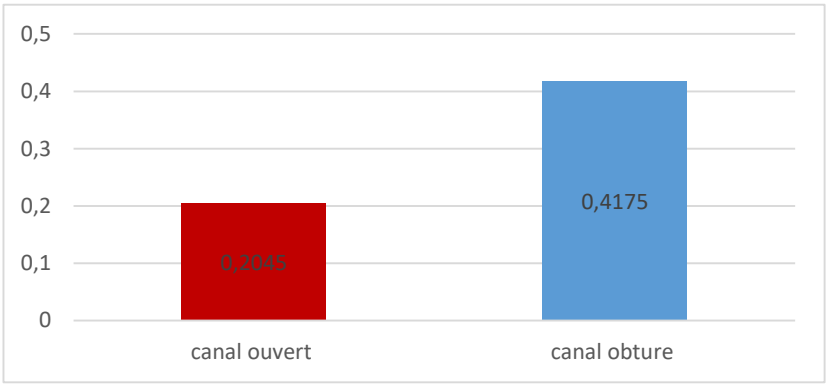
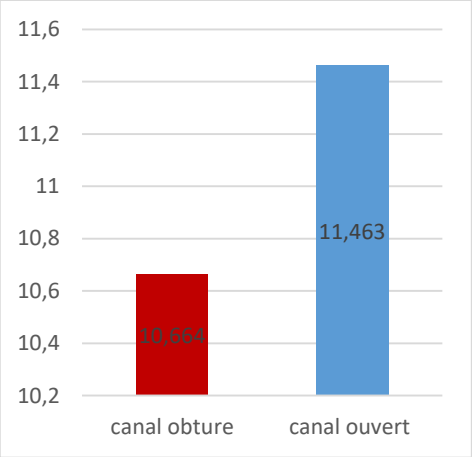


Figure II.21 histogramme de module d young en mode pelage avec canal central ouvert et obture

II.5.5. Histogramme comparatif des contraintes de la géomembrane soudée en mode pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.5.5.a Contraintes au seuil d écoulements et plastique en mode pelage



FigureII.22 histogramme des contraintes au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

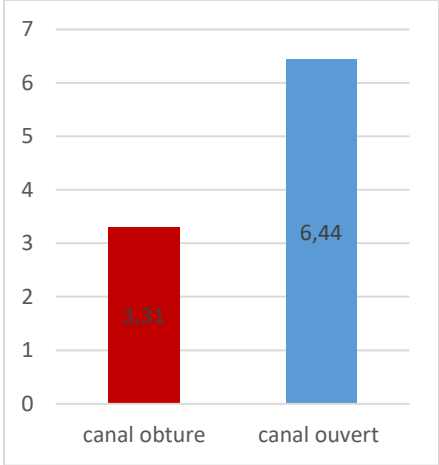


Figure II.23 histogramme des contraintes plastiques d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II.5.5.b.Contraintes début plasticités et contraintes a la rupture en mode pelage

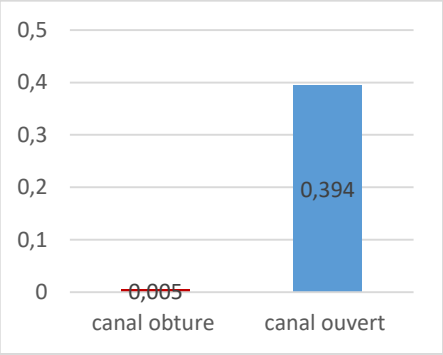


Figure II.23 histogramme des contraintes a la rupture d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

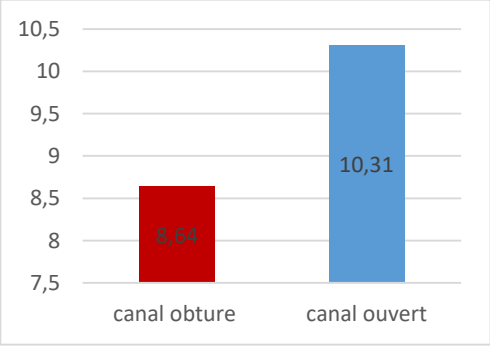


Figure II.24 histogramme des contraintes au début de la plasticité d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II.5.6 Histogramme comparatif des déformations de la géomembrane soudée en mode pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.5.6.a.Deformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode pelage

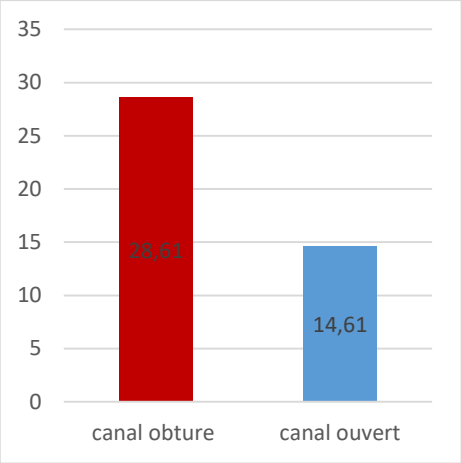
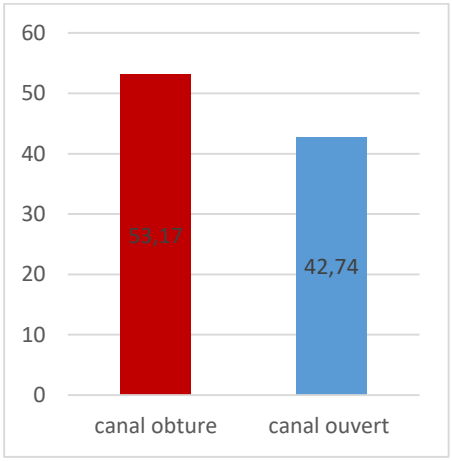
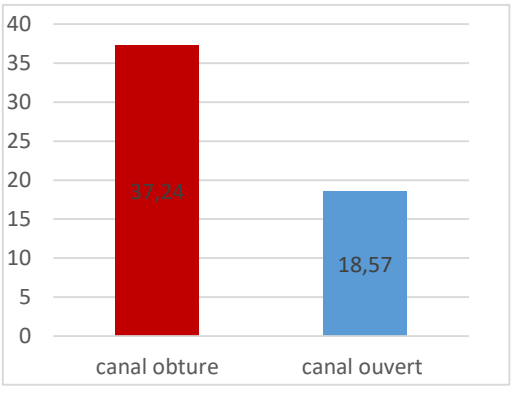


Figure II.25 histogramme des déformations au seuil d'écoulement d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture



FigureII.26 histogramme des déformations plastique d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II.5.6.b Déformations correspondant aux contraintes au plateau de plasticité et rupture en mode pelage



FigureII.27histogramme des déformations en zone plastique d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

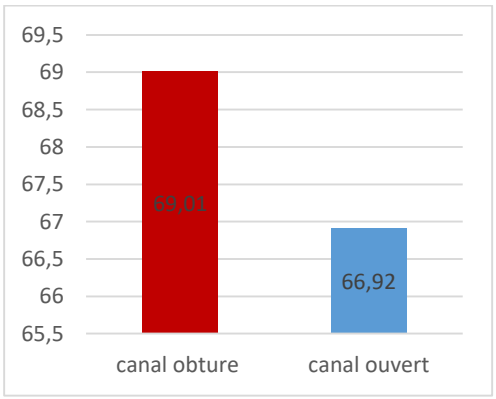


Figure II.28 histogramme des déformations a la rupture d'une géomembrane soudée avec canal central ouvert et obture

II.6 Histogrammes comparatifs des propriétés mécaniques usuelles de la geomembrane soudée en modes combiné cisaillement et pelage a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.6.1Geomembrane soudée avec canal central ouvert :

II.6.1.a Histogramme de module d young E (MPa)

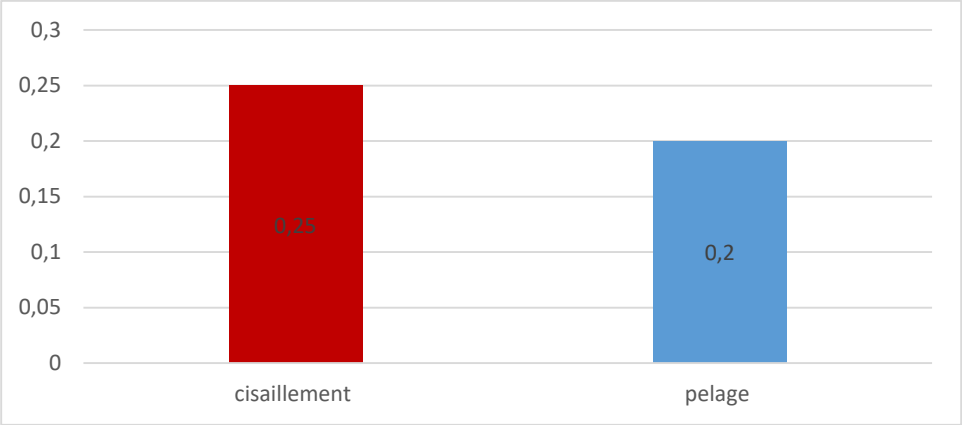
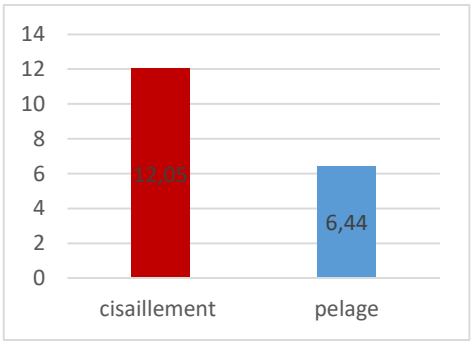


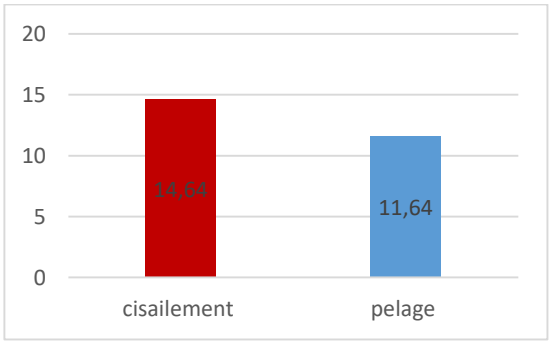
Figure II.29 histogramme du module d young en mode combine avec canal ouvert

II.6.2. Histogramme comparatif des contraintes de la géomembrane soudée en mode combine pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.6.2.a Contraintes au seuil d'écoulement et plastique en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert



FigureII.31 histogramme des contraintes plastique en mode combine avec canal ouvert



FigureII.30 histogramme des contraintes au seuil d écoulements en mode combine avec canal ouvert

II.6.2.bContraintes début plasticités en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert

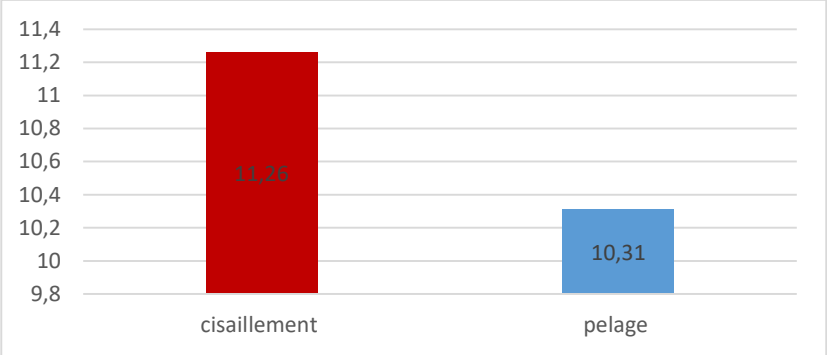
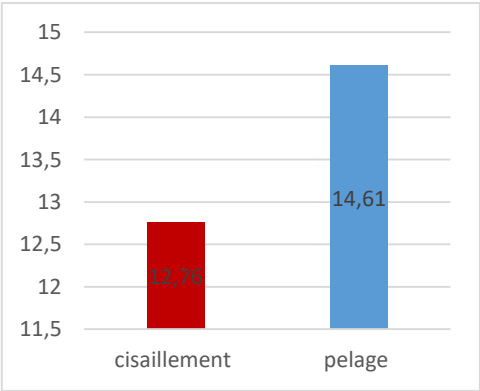


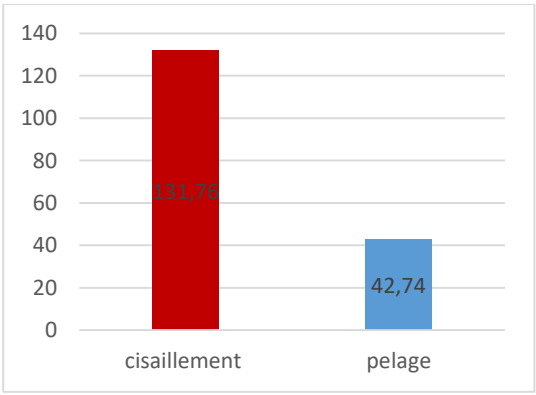
Figure II.31histogramme des contraintes au début de la plasticité en mode combine avec canal ouvert

II.6.3 Histogramme comparatif des déformations de la géomembrane soudée en mode combiné pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.6.3.aDéformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert

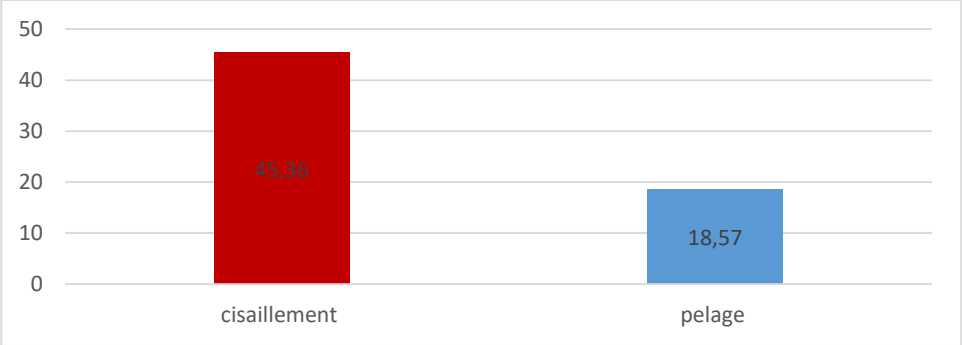


FigureII.32 histogramme des déformations au seuil d'écoulement en mode combiné avec canal ouvert



FigureII.33 histogramme des déformations plastique en mode combiné avec canal ouvert

II.6.3.b Déformations correspondant aux contraintes début de la plasticité en mode combine pelage et cisaillement avec canal central ouvert



FigureII.34 histogramme des déformations au début de la plasticité en mode combiné avec canal ouvert

II-6.4.Geomembrane soudée avec canal central obture :

II.6.4.a Histogramme de module d young E(MPa)

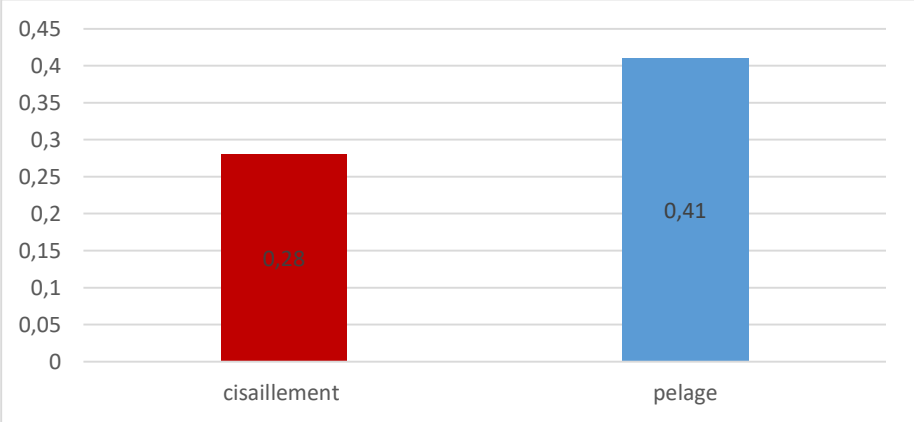
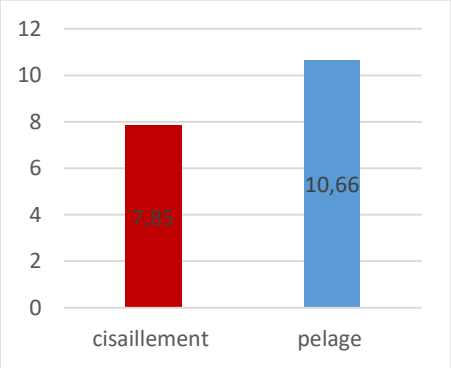


Figure II.35 histogramme du module d young en mode combiné avec canal ouvert

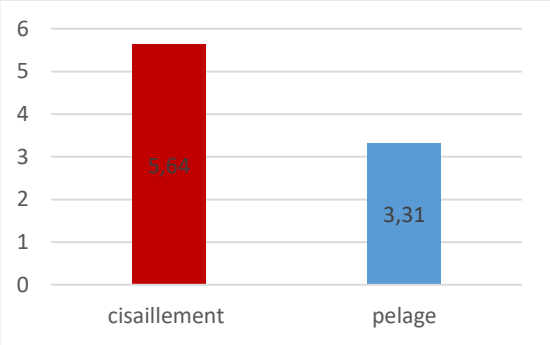
II.6.5.Histogramme comparatif des contraintes de la geomembrane soudée en mode combine pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.6.5.aContraintes au seuil d'écoulement et plastique en mode combine pelage et cisaillement

Avec canal central obture

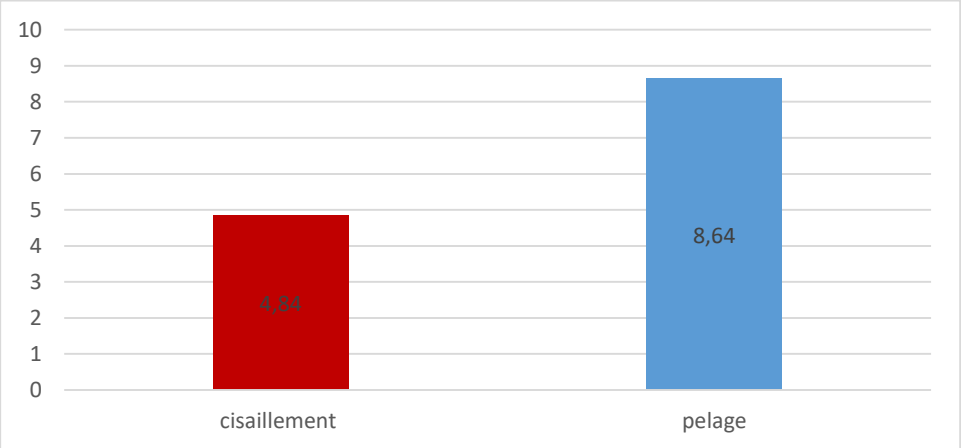


FigureII.36 histogramme des contraintes au seuil d écoulements en mode combiné avec canal obture



FigureII.37 histogramme des contraintes plastique en mode combiné avec canal obture

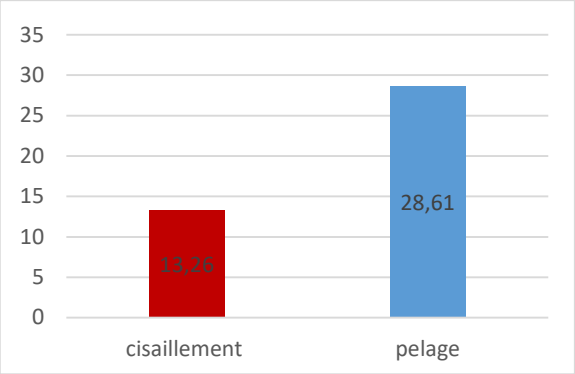
II.6.5.b.Contraintes début plasticités en mode combine pelage et cisaillement avec canal central obture



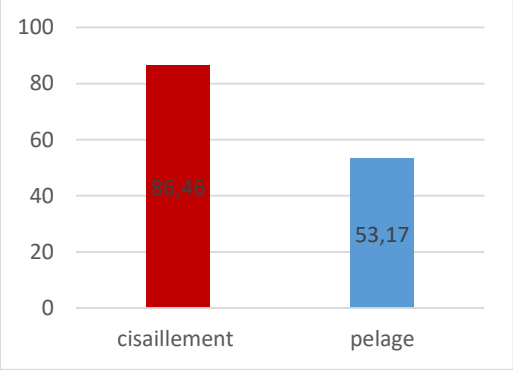
FigureII.38 histogramme des contraintes au début de la plasticité avec canal central obture

II.6.6. Histogramme comparatif des déformations de la geomembrane soudée en mode combiné pelage et cisaillement a vitesse de sollicitation constante (v=10mm/min)

II.6.6.a Déformations correspondant aux contraintes au seuil d écoulements et plasticités en mode combiné pelage et cisaillement avec canal central obture



FigureII.39 histogramme des déformations au seuil d'écoulement avec canal obture



FigureII.40 histogramme des déformations plastique avec canal obture

II.6.6.b Déformations correspondant aux contraintes début de la plasticité en mode combiné pelage et cisaillement avec canal central obture

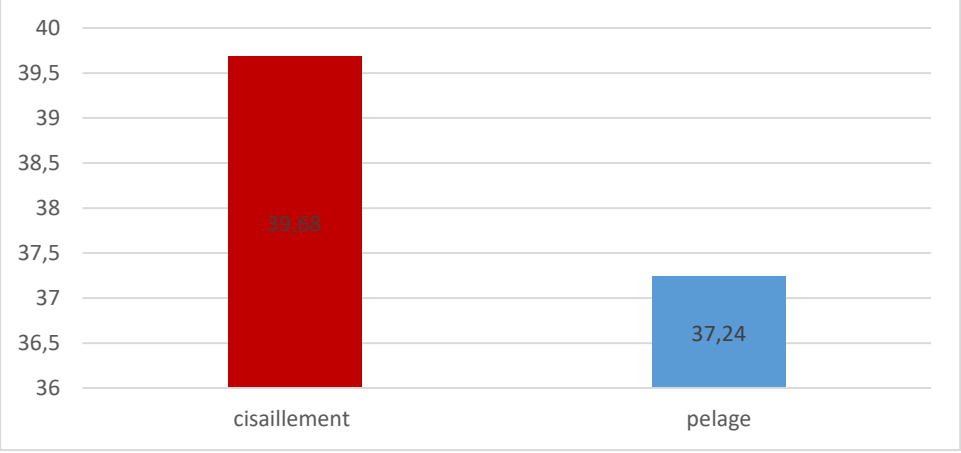


Figure II.41histogramme des déformations au début de la plasticité avec canal obture

Comme il fallait s'y attendre les résultats associes aux propriétés mécaniques caractéristiques inhérentes à la soudure de la géomembrane sont en accord avec ceux publies et les normes en vigueur.

En effet, dans tous les essais conduits en laboratoire, la rupture sous sollicitation mécanique est toujours localisée en dehors de la soudure et ce, dans tous les cas envisages, à savoir, canal ouvert ou ferme. Ceci confirme clairement que la soudure des géomembranes est très bien réalisée.

Comme il a été montre, les essais en cisaillement présentent un comportement elasticoviscoplstique semblable à celui des éprouvettes de la géomembrane non soudée.

Dans ce test, il n y a pas eu de rupture. La déformation étant très importante par rapport à la course nominale de la machine de traction. Ceci permet de statuer la bonne qualité de la géomembrane soudée et non soudée.

Par contre, les essais en pelage présentent un comportement spécifique aux matériaux soudes. En effet, les courbes contraintes déformation présentent un comportement compose.

II.7. Standard OIT (S-OIT) et High Pressure OIT (HP–OIT)

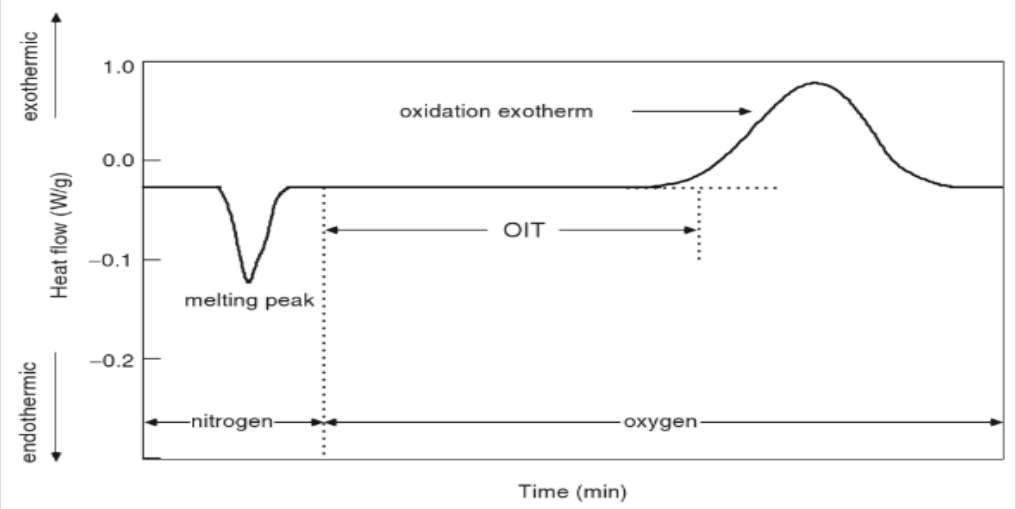
Le test usuellement utilisé pour évaluer la résistance des géomembranes à la dégradation oxydative en service est le test '' temps d'induction oxydative (OIT)'' conformément à l'ASTM D-3895 qui évalue l'efficacité de l'anti-oxydant utilisé dans la formulation.

La courbe type de l'OIT est représentée à la figure 2, ci-dessous.

L'OIT est défini comme étant le temps entre l'admission du gaz oxygène dans la cellule contenant l'échantillon et la déviation de l'exotherme d'oxydation de sa ligne de base. Les standards GRI associés au HDPE et LLDPE exigent que l'OIT doive être supérieure à 100 min.

L'OIT est déterminée via un calorimètre DSC.

Les stabilisants de type amines sont volatiles et peuvent se dégrader durant le test de l'IOT qui se réalise à 200°C qui représente une valeur supérieure à celle de la température d'efficacité de 150°C.



Courbe OIT montrant le début de l'OIT à partir de l'admission de l'oxygène dans la cellule porte échantillon. L'OIT est défini comme le temps, à partir duquel l'exotherme d'oxydation dévie de la ligne de base, diminué du temps de démarrage quand l'oxygène atteint la cellule porte échantillon (ASTM D-3895 et ASTM D-5885 pour S-OIT et HP-OIT respectivement.

Figure 2. Courbe type de l'OIT

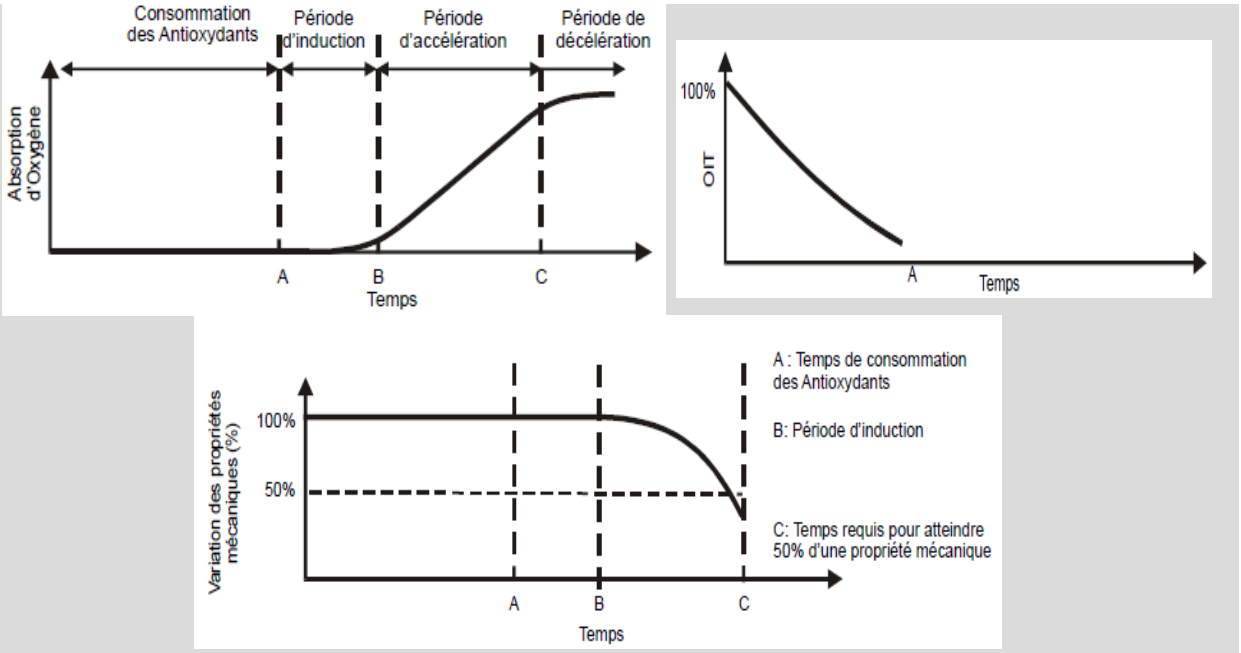


Figure 1. Les différentes étapes de la dégradation par thermo-oxydation du polyéthylène

Des antioxydants sont ajoutés à la résine dans le but d'augmenter la durée de la période d'induction. En pratique, ceux-ci augmentent donc la résistance à la dégradation thermique du polyéthylène, c'est à dire leur durée de vie utile en présence de chaleur.

Résulta d'OIT :

O.I.T echantillon 11	ASTMD 3895	min	>167min

II.8. Le poinçonnement:

La conception du DEG doit être faite de manière à ce que la géomembrane ne soit pas poinçonnée, notamment sous les sollicitations suivantes:

-. Poinçonnement mécanique, statique ou dynamique, produit par l'application de charges de types:

∗ Temporaires lors de la mise en œuvre (circulation et manœuvre des engins,…etc.)

∗ Permanentes

En général, les contraintes sont concentrées au niveau des angularités de la couche support.

-. Poinçonnement hydraulique (à postériori): la pression hydrostatique créée par le liquide stocké tend à plaquer la géomembrane sur la surface de le support. En présence d'aspérités, la géomembrane peut rompre soit par perforation sur les angularités (cas des géomembranes peu déformables), soit par éclatement sur les poches vides du support (cas des géomembranes très déformables).

Pour ces types de sollicitations, il est possible de définir un ensemble de solutions faisant l'adéquation entre la résistance mécanique de la géomembrane et les caractéristiques géométriques du support.

En plus, de l'appréciation des résultats de laboratoire, une expérimentation sur le site peut permettre, si nécessaire, d'optimiser le dimensionnement vis-à-vis du poinçonnement mécanique statique.

Caractéristique	Méthode de test	Unité de mesure	RESULTATS
Poinçonnement	ASTMD 4833	N	610.22 635.55

La résistance au poinçonnement obtenue à l'aide de l'essai ASTMD4833 varie de 610.22 à 635.55N pour les géomembranes PE, la résistance qui augmente avec l'épaisseur des produits.

Conclusion générale

A l'issu de notre projet de fin d'études sur la caractérisation de la géomembrane soudée utilisée pour l'étanchéité des bassins d'une station d'épuration des eaux usées en phase de réalisation dans la wilaya d'ILLIZI, nous avons eu la possibilité de développer nos connaissances sur les polymères, les additifs et la caractérisation des matériaux via différentes techniques expérimentales.

De plus, nous avons travaillé dans un domaine nouveau et exceptionnel associé aux géosynthétiques.

En Algérie, quoique les applications soient nombreuses et en plein essor, la compréhension des aspects phénoménologiques associés au contexte spécifique de leur utilisation ainsi qu'aux moyens des contrôle de qualité reste à développer et à généraliser.

Comme la géomembrane PEHD est utilisée pour assurer l'étanchéité des ouvrages de génie civil qui constitue l'ensemble de la station d'épuration des eaux usées, nous avons déterminé les propriétés élasticoviscoplastique caractéristiques telles que le module de Young, la contrainte au seuil d'écoulement, les contraintes aux plateaux de plasticité, la contrainte à la rupture et les taux de déformation correspondants.

Les résultats sont en accord avec les normes en vigueur et ceux publiés dans les revues scientifiques.

De plus, connaissant les conditions d'utilisation de la géomembrane et la rudesse de l'environnement, nous avons déterminé la résistance au poinçonnement et les propriétés physicochimiques via l'OIT.

Les résultats sont en meilleurs que ceux prévus par les normes.