

République Algérienne Démocratique et Populaire

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER ACADEMIQUE EN GENIE MECANIQUE

**OPTION: SCIENCES DES
MATERIAUX**

THEME

**Caractérisation de la Géomembrane PEHD : Application à
l'étanchéité d'un bassin d'une station d'épuration des eaux
usées**

Proposé et dirigé par :

M. SALHIA

Présenté et soutenu par :

M. Aghiles BELLABIOD
M. belkacem HADJ-ALI

PROMOTION2016/2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons en premier lieu à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qui nous a donné afin de mener ce projet à terme.

Nous tenons à remercier tout particulièrement, notre promoteur Mr. SALHI.A Maître de conférences à l'U.M.M.T.O, qui a encadré au quotidien notre travail. Son expertise ainsi que ses conseils avisés ont été très formateurs et d'un très grand secours, au cours de ce projet, ce qui nous a aidé et soutenu tout le long de notre travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude pour le groupe Chiali et le CNTC d'avoir contribué à réaliser notre projet notre modeste travail ainsi nous remercions le laboratoire Mecheri pour l'aide qui nous ont apporté.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers les membres du jury qui ont eu la lourde tâche, d'examiner ce travail.

Et Nous remercions, l'ensemble de la communauté de l'U.M.M.T.O

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui, de près ou de loin, ont aidé à l'élaboration de ce projet, en particulier nos familles et nos amis(es).

Dédicace

Je dédie ce mémoire à:

Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sentiments pour leur patience illimitée, leurs encouragements continus, leur aide, en témoignage de mon profond respect et gratitude pour leur grand sacrifice.

Mes chères sœurs pour leur soutien sans limite que je salue avec haute gratitude.

Mes chers amis que sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Tous les enseignants et professeurs qui m'ont instruit depuis mon premier pas à l'école jusqu'à aujourd'hui.

Et à tous les militants et martyrs de la liberté et la démocratie.

« Quelqu'un a existé, il n'est pas là, mais il continue d'exister »

Belkacem HADJ-ALI

Dédicace

Je dédie ce mémoire à:

Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sentiments pour leur patience illimitée, leurs encouragements continus, leur aide, en témoignage de mon profond respect et gratitude pour leur grand sacrifice.

Mes chers frangins Takfa, Amnay, mon grand frère Massi et sa femme Hanane ainsi ma petite sœur Thiziri pour leur soutien sans limite que je salue avec haute gratitude.

Mes deux neveux Samy et Anaïs

Mes chers amis que sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Ma chère Sihem

Bellabiod Aghiles

Liste des symboles

Signes	Signification	Unités
σ	Résistance élastique a la traction	MPa
ϵ	Allongement relatif	%
E	Module de YOUNG	MPa
Rm	Résistance à la rupture	MPa
Re	Résistance à la traction	MPa
θ_i	Angle de découpe	Degré (°)
Vi	Vitesse de sollicitation	mm/min
σ_y	Contrainte au seuil d'écoulement	MPa
σ_P	Contrainte au plateau de plasticité	MPa
σ_{pd}	Contrainte au début de plateau de plasticité	MPa
σ_{pf}	Contrainte à la fin du plateau de plasticité	MPa
ϵ_y	Allongement relatif associé au seuil d'écoulement	%
ϵ_p	Tôt de déformation	%
PE	Polyéthylène	—
PP	Polypropylène	—
PEHD	Polyéthylène a haute densité	—
PPF	Polypropylène flexible	—
PVC	Polychlorure de vinyle	—
PVC-P	Polychlorure de vinyle plastifié	—
EPDM	Éthylène-Propylène-Diène-Monomère	—
CSD	Centre de Stockage des Déchets	—
OIT	Temps d'induction oxidative	—

I.	Généralités sur les polymères.....	3
I.1.	Introduction :.....	3
I.2.	Polymère :.....	3
I.3.	Structure de base des matières plastiques :.....	4
I.3.1.	Composantes :.....	4
I.3.2.	Composition d'une molécule :.....	5
I.3.2.1.	La polymérisation [03] :.....	5
I.3.2.2.	Degré de polymérisation DP_n	6
I.3.2.3.	Masse molaire [02] :.....	6
I.4.	Différents types de matières plastiques [04] :.....	7
I.4.1	Les thermoplastiques :.....	7
I.4.2.	Les thermodurcissables :.....	9
I.4.3.	Les élastomères :.....	9
I.5.	Classification des polymères organique :.....	9
I.5.1.	Selon leur Origine [05] :.....	9
I.5.1.1.	Polymères naturels :.....	9
I.5.1.2.	Polymères synthétiques :.....	10
I.5.1.3.	Polymères artificiels :.....	10
I.5.2.1.	Les Polymères linières (ou monodimensionnels) :.....	11
I.5.2.2.	Les Polymères réticulés (ou bidimensionnels) :.....	11
I.5.2.3.	Polymères ramifiées (ou tridimensionnels) :.....	12
I.5.3.	Solen leur morphologie [08] :.....	12
I.5.3.1.	Les polymères amorphes :.....	12
I.5.3.2.	Polymères semi-cristallins :.....	13
I.6.	Conclusion.....	14
II.	Généralités sur les géomembranes.....	15
II-1.	Introduction :.....	15
II-2.	Définition :.....	15
II-3.	Différents types de Géomembrane :.....	15
II-3-1.	Géomembrane a base de polyéthylène.....	16
II.3.1.1.	Géomembranes polyéthylène à haute densité (PEHD).....	16
II.3.2.	Géomembrane a base de polypropylène (PP).....	17
II.3.3.	Géomembranes à bases de PVC :.....	18
II.3.4.	Géomembrane EPDM :.....	19
II.3.5.	Géomembrane à base des bitumes :.....	20
II.3.5.1.	Définition :.....	20
II.3.5.2.	Géomembrane bitumineuse :.....	20



II.4. Procédé de fabrication des géomembranes :.....	22
II.4.1. L'extrusion :.....	22
II.4.2. Le calandrage :.....	22
II.4.3. L'enduction :.....	23
II.5. Le soudage des géomembranes :	23
II.6. Conclusion :.....	24
III. Géomembrane PEHD :.....	25
III.1. Introduction :.....	25
III.2. La Géomembrane PEHD :.....	25
III.3. Domaine d'utilisation :.....	26
III.3.1. La Géomembrane PEHD peut être utilisée pour :.....	26
III.4. Caractérisation Mécanique de la Géomembrane :.....	26
III.5. Aspects Thermiques et Température de Transition Vitreuse :	28
III.5.1. Chauffage, Chaleur de fusion :.....	28
III.6. Aspects phénoménologiques de dégradation du polyéthylène :.....	28
III.6.1. Résistance à la fissuration sous contrainte :.....	29
III.6.2. Oxydation thermique :.....	30
III.6.3. Standard OIT (S-OIT) et High Pressure OIT (HP-OIT) :.....	32
III.6.4. Photo-oxydation (résistance aux Ultra-violets) :.....	32
III.2.3 Avantages et Inconvénients du PEHD :	34
III.2.3.1 Avantages :.....	34
III.2.3.2 Inconvénients :.....	34
I. Caractérisation de la géomembrane PEHD	35
I.1. Introduction :.....	35
I.2. Essais de traction :.....	35
I.2.1. présentation de la matière première PEHD :.....	35
I.2.2. Réalisation des éprouvettes pour caractérisation mécanique :.....	36
I.2.3. Préparation des éprouvettes :	37
I.2.3.1. Angles de découpes :.....	37
I.2.3.2. Vitesses de sollicitation :.....	38
I.2.4. Principe de l'Essai de traction :.....	38
I.2.5. Propriétés mécaniques caractéristiques usuelles :.....	40
I.2.5.2. Caractérisation mécanique via des essais de traction uniaxiale :.....	40
I.2.5.2.1. Courbe contrainte déformation selon le couple (θ_i ; V_i) :.....	40
I.2.5.2.2. Propriétés mécaniques Caractéristiques, des géomembranes PEHD, obtenues selon le protocole paramétrique (θ_i ; V_i) :.....	53

Figure I-1: (-CH ₂ -CH ₂ -) est une unité du polymère.....	3
Figure I-2: Polymères naturels.	10
Figure I-3: Polymères synthétiques.....	10
Figure I-4: polymères linéaires a: homopolymère, b: copolymère statistique c: copolymère alterné, d: copolymère séquencé.	11
Figure I-5: Polymère réticulé avec ponts disulfure reliant deux chaînes.	12
Figure I-6: Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b).....	12
Figure I-7: polymère amorphe.....	13
Figure I-8: polymère semi-cristallisé.	14
Figure II-1: Polymérisation de l'éthylène	16
Figure II-2: Geomembrane a base de polyethylene à haute densité.....	16
Figure II-3: Géomembrane en polypropylène flexible (PP F)	18
Figure II-4: geomembrane polychlorure de vinyle plastifié PVC P.....	19
Figure II-5: Composants de la géomembrane bitumineuse.....	21
Figure II-6: Géomembrane bitumineuse soudée ou raccordée.....	21
Figure II-7: Fabrication des géomembrane par extrusion	22
Figure II-8: Type de soudage des géomembrane PE.....	24
Figure III-1: Géomembrane PEHD de 1 et 3 mm produite par Weifang Fuhua étanche Materiels Co en Chine.....	25
Figure III-2: Les différentes étapes de la dégradation par Thermo-oxydation du polyéthylène	31
Figure III-3: Distribution annuelle moyenne de la radiation solaire sur la terre (kLy); La flèche situe la position de l'Algérie.....	33
Figure I-I-1 : Représentation de l'éprouvette normalisée	36
Ces éprouvettes sont découpées à l'aide d'un balancier et d'un emporte-pièce normalisé comme la montre la figure (Figure I-2).....	36
Figure I-3 : moule utilisé pour la réalisation des éprouvettes	37
Figure I-4 : balancier « polycad » pour découper les éprouvettes en altère.....	37
Figure I-5 : Machine à traction de type ibertest.	38
Figure I-6 : Eprouvette à l'état initial.....	39
Figure I-I-7 : Eprouvette apres traction à un taux de déformation de plus de 100%	39
Figure I-I-8: Eprouvette à la fin de l'essai de traction avec un taux de déformation allant jusqu'à 400%.	39
Figure I-9 : Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=10 mm/mn) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$).....	40
Figure I-10: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=20 mm/mn) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$).....	41
Figure I-11 : courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante (V=20 mm/min à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$).	41
Figure I-12 : Courbes contraintes-déformations à déférentes vitesses de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$).	42

Figure I-13: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)	43
Figure I-14: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$).....	43
Figure I-15: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$).....	44
Figure I-16: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)	44
Figure I-17: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante $V=(10$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$).....	45
Figure I-18: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$).....	45
Figure I-19: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$).....	46
Figure I-20: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)	46
Figure I-21: : Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$).....	47
Figure I-22: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$).....	47
Figure I-23: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$).....	48
Figure I-24: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)	48
Figure I-25: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$).....	49
Figure I-26: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$).....	49
Figure I-27: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$).....	50
Figure I-28: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)	50
Figure I-29: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$).....	51
Figure I-30: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$).....	51
Figure I-31: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$).....	52
Figure I-32: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)	52
Figure I-33: Évolution de la contrainte au plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)	53
Figure I-34: Évolution de taux de la déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)	53

Figure I-35: Évolution de la contrainte au début du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) 54

Figure I-36; Évolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) 54

Figure I-37: Évolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) 54

Figure I-38: Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) 54

Figure I-39: Évolution de taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) 54

Figure I-40: Évolution de taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) 54

Figure I-41: Évolutions du module de Young E (Mpa) en fonction de vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) 55



Tableau I-1: Structure de quatre polymères courants et leurs usages [02].....	4
Tableau I-2 : représentation des matières.....	5
Tableau III-1 : Énergies de liaison moléculaires typiquement rencontrées dans les polymères utilisés pour la fabrication de géo synthétiques	30
Tableau I-2 : Balancier "polycad" pour découpé les éprouvettes en altère.	37

Introduction

Générale



Introduction générale

Les parts de marché des géomembranes en polyéthylène haute densité n'ont pas 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 non-soudée utilisée dans l'étanchéité des bassins d'une station d'épuration des eaux usées qui est en phase de réalisation dans la wilaya d'ILLIZI. Les échantillons de géomembrane 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 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 nous avons découpé des éprouvettes sous différents angles, à savoir, $\theta=0^\circ$; $\theta=10^\circ$; $\theta=20^\circ$; $\theta=35^\circ$; $\theta=45^\circ$ et $\theta=90^\circ$. Quant aux vitesses de sollicitations, elles sont choisies dans une gamme se rapprochant de la réalité : 10 ; 20 et 30 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.

Chapitre I :

Généralité

sur Les

Polymères



I. Généralités sur les polymères

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. En raison du nombre potentiellement élevé des différentes substances polymères sur le marché, et étant donné qu'il est généralement considéré que les molécules de polymère présentent un risque faible en raison de leur poids moléculaire élevé, les polymères ne sont pas soumis à autorisation et restriction

I.2. 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 chaîne 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.

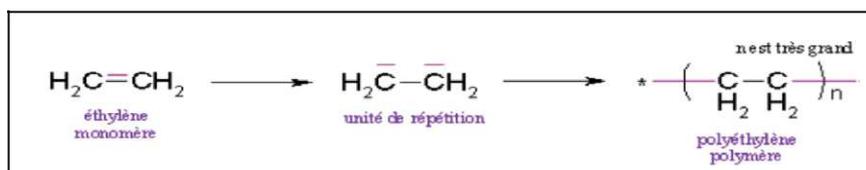


Figure I-1: (-CH₂-CH₂-) est une unité du polymère.

Le Tableau I.1 montre quelques exemples de polymères, leurs structures et leurs usages

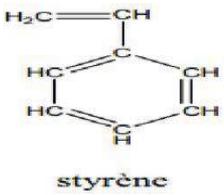
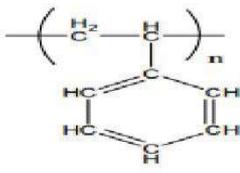
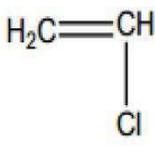
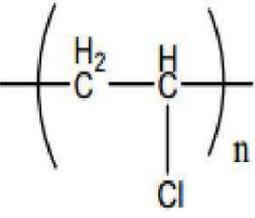
	Monomère	polymère	Utilisation (usage)
PE (Polyéthylène)	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ éthéré ou éthylène	$-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$	Sac plastique, Sac Poubelle, Bouteille de produit d'entretien
PS (Polystyrène)	 styrene		Isolant thermique Emballage
PVC (Polychlorure de vinyle)	 Chloroéthène ou chlorure de vinyle		Revêtement de Sol
pp (Polypropylène)	Propylène $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	Polypropylène $(-\text{CH}_2-\underset{\text{I}}{\text{CH}}-\underset{\text{I}}{\text{CH}_2}-\text{CH}_2-)_n$ I I CH_3CH_3	Habillement, tapis, tissus industriels, cordages.

Tableau I-1: Structure de quatre polymères courants et leurs usages [02]

I.3. Structure de base des matières plastiques :

I.3.1. Composantes :

Les atomes rencontrés dans les matières plastiques sont au nombre de huit est nombre de masse molaire dans une g/mol comme représenté dans le tableau suivant :

Eléments	carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Chlore	Silicium	Soufre	Fluor
Symbole	C (12)	H (1)	O (16)	N(14)	C(13,4)	Si(28,0)	S(32)	F(18,99)

Tableau I-2 : représentation des matières

I.3.2.Composition d'une molécule :

I.3.2.1. La polymérisation [03] :

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 chaîne dans laquelle les unités monomères sont additionnées une à une centre actif.

La polymérisation polycondensation : fournissent un ensemble de molécules dotées de propriétés 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 chaînes d'un polymère n'ont pas la même longueur. Une chaîne 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. Le polymère est alors caractérisé par sa distribution de masse molaire et par ses masses molaires moyennes en nombre et en masse, respectivement définies par :

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad \text{(Equation .I.1)}$$

$$M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} \quad \text{(Equation .I.2)}$$

Où N_i le nombre de chaînes et M_i la masse moléculaire

I.3.2.2. Degré de polymérisation DP_n :

Le degré de polymérisation est le nombre « n » de molécule de monomère formant la macromolécule de polymère. par exemple dans le cas du polyéthylène $[CH_2-CH_2]_n$ fois, ce nombre "n" peut varier entre 500 et 50 000 unités. Il faut remarque qu'en ce qui concerne la macromoléculaires sont covalentes, et donc très résistances et très rigide. Un polymère peut également être caractérisé par son degré de polymérisation moyen en poids :

$$DP_n = \frac{M_n}{M_0} \quad \text{(Equation I.3)}$$

M_n : poids moléculaire moyen du polymère.

M_0 : poids moléculaire du monomère [03]

I.3.2.3. Masse molaire [02] :

Les polymères à très longues chaînes ont une masse molaire extrêmement élevée (de l'ordre de 10⁵ à 10⁷g/mole). Durant la polymérisation, les macromolécules synthétisées à partir de molécules plus petites forment des chaînes dont la longueur et la masse molaire sont variables. C'est pourquoi on donne généralement la masse molaire moyenne, que l'on détermine en mesurant diverses propriétés physiques telles que la viscosité. On définit la masse molaire moyenne de plusieurs façons.

Pour obtenir la masse molaire moyenne en nombre M_n , on répartit les chaînes en une série de plages de masse molaire, puis on détermine la proportion numérique des chaînes faisant partie de chaque plage.

L'expression mathématique de la masse molaire moyenne en nombre est donnée par La formule suivante :

$$\mathbf{M}_n = \sum x_i \mathbf{M}_i \quad (\text{Equation .I.4})$$

Avec :

M_n : Masse molaire en nombre.

M_i : Masse molaire moyenne de la plage de masse molaire.

x_i : Proportion des chaînes faisant partie de cette plage.

La masse molaire moyenne en masse M_m repose sur la proportion massique des molécules faisant partie de diverses plages de masse molaire. On calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$\mathbf{M}_m = \sum f_i \mathbf{M}_i \quad (\text{Equation .I.5})$$

M_i : Masse molaire moyenne d'une plage de masse molaire.

f_i Représente la proportion massique des molécules faisant partie de cette plage.

I.4. Différents types de matières plastiques [04] :

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

Les thermoplastiques (qui peuvent être partiellement cristallisés) ;

Les thermodurcissables ;

Les élastomères.

I.4.1 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.

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. 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 tridimensionnel 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, des semelles de chaussures ou des pneus.

➤ **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.

I.4.2. 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 et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes.

I.4.3. 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 tridimensionnel 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, des semelles de chaussures ou des pneus

I.5. Classification des polymères organique :

I.5.1. Selon leur Origine [05] :

On peut les classer en trois catégories:

I.5.1.1. Polymères naturels :

Sont issus des règnes végétal ou animal, leur importance est considérable. On peut cependant mentionner, dans cette catégorie, la famille des polysaccharides (cellulose, amidon...), celle des protéines (laine, soie...), caoutchouc naturel (poly isoprène – vulcanisation du latex de l'hévéa), Silicates, protéines.



Figure I-2: Polymères naturels.

I.5.1.2. Polymères synthétiques :

Polychlorure de vinyle (PVC), polypropylène (PP), polyéthylène (PE), polyéthylène à basse densité (PE-BD), polyéthylène à haute densité (PE-HD), polyamide (PA), poly tétra fluoré éthylène (PTFE, " téflon "), polyéthylène téréphtalate (PET), poly-méthacrylate de Méthyle (PMMA), polycarbonate (PC), polystyrène (PS), polyuréthane (PU), poly-diméthyle siloxanes (silicone).



Figure I-3: Polymères synthétiques

I.5.1.3. Polymères artificiels :

Dérivés des polymères naturels, nitrate et acétate de cellulose, Ébonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre).

I.5.2. Selon leur structure (ou dimensionnalité) [06] [07]

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

I.5.2.1. Les Polymères linéaires (ou monodimensionnels) :

Les polymères linéaires sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide. Si la température s'élève, l'agitation moléculaire qui en résulte va rompre progressivement ces liaisons secondaires. Le matériau va pouvoir s'écouler sous son propre poids : il présente alors le comportement d'un liquide visqueux. La température à laquelle se produit cette évolution s'appelle la température de transition vitreuse. La transition vitreuse correspond à l'apparition de mouvements de longs segments de chaîne et marque le passage de l'état vitreux à l'état caoutchouc. La figure I.4 donne différents exemples de polymères linéaires.

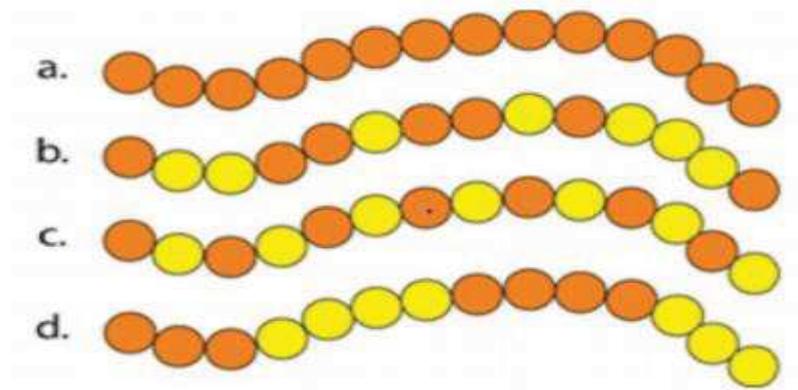


Figure I-4: polymères linéaires a: homopolymère, b: copolymère statistique c: copolymère alterné, d: copolymère séquencé.

Les propriétés mécaniques des copolymères varient en fonction du type et de la disposition des monomères. Les rotations de la chaîne sont facilitées ou au contraire rendues plus difficiles en fonction de la nature, de la disposition et de l'encombrement de chacun des monomères.

I.5.2.2. Les Polymères réticulés (ou bidimensionnels) :

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

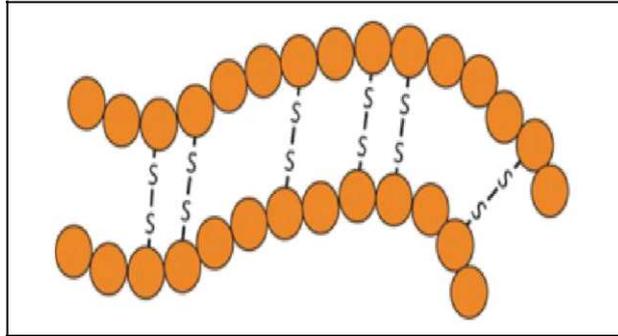


Figure I-5: Polymère réticulé avec ponts disulfure reliant deux chaînes.

I.5.2.3. Polymères ramifiées (ou tridimensionnels) :

Des chaînes homopolymères. Exemple : PS ou copolymères, PET, peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au-dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront un comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires.

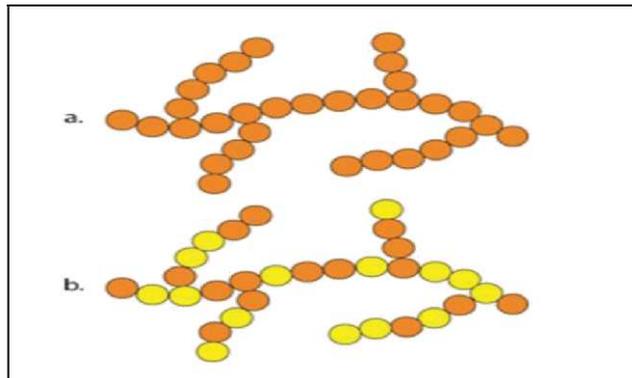


Figure I-6: Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b).

I.5.3. Selon leur morphologie [08] :

I.5.3.1. Les polymères amorphes :

Ils sont transparents. En dessous de leur température de transition vitreuse (ramollissement) ils sont à l'état vitreux et l'on parle de verres organiques. Ils sont généralement peu résistants à la rupture. L'adjonction de particules d'élastomère permet de les rendre plus ductiles. Les chaînes macromoléculaires peuvent être orientées au cours de la mise en œuvre, ce qui leur confère des propriétés anisotropes. Les matières hautes températures amorphes ont une structure moléculaire disposée aléatoirement, et n'ayant pas de point de fusion précis, se ramollissent progressivement à mesure que la température augmente. Ces matières changent de viscosités lorsqu'elles sont chauffées, mais ont rarement un flux aussi aisé que les matières

semi-cristallines .leur flux est isotrope, avec un retrait uniforme dans la direction du flux et transversal au flux. C'est pourquoi les matières amorphes ont des retraits au moule moins élevés, et une moindre tendance à la déformation que les matières semi-cristallines. Les résines amorphes perdent leur résistance rapidement au-dessus de leur température de transition vitreuse.

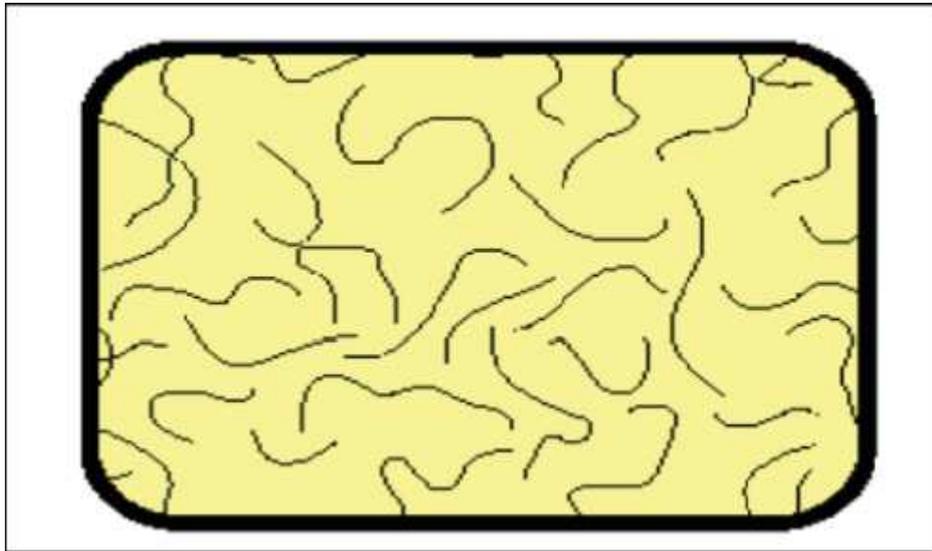


Figure I-7: polymère amorphe.

I.5.3.2. Polymères semi-cristallins :

Ils sont constitués de phases cristallines et de phases amorphes du même polymère. Leur microstructure est souvent complexe et, en conséquence, la description de leurs propriétés aussi. Leurs propriétés mécaniques sont généralement bonnes.

A titre d'exemple, la matière plastique des gobelets jetables est plus résistante à la déchirure dans la direction circonférentielle que dans la direction des génératrices, ce qui manifeste une anisotropie des propriétés mécaniques.

Les matières semi- cristallines ont une structure moléculaire hautement ordonnées, avec des points de fusion très précis. Elles ne ramollissent pas à mesure que la température augmente, puis se transforment rapi dément en un liquide à basse viscosité. Ces matières ont un flux anisotrope, se retirant moins dans la direction du flux que transversalement au flux

.Elles ont une excellentes résistance chimique .Les semi -cristallines renforcées ont des propriétés haute-températures bien meilleures, et conservent des niveaux de résistances et de rigidité au-delà de leur température de transition vitreuse.



Figure I-8: polymère semi-cristallisé.

I.6. Conclusion

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

Chapitre II :
Généralité
sur les
Géomembranes



II. Généralités sur les géomembranes

II-1. Introduction :

La protection de l'environnement, et tout particulièrement de la ressource en eau, nécessite souvent la mise en œuvre d'étanchéités fiables pour différentes sortes d'ouvrages. Qu'il s'agisse d'ouvrages de stockage d'eau ou de déchets, cette étanchéité est de plus en plus fréquemment assurée par des produits simples : les géomembranes sont des produits très techniques possédant des caractéristiques particulières, que ni le prescripteur, ni l'utilisateur ne doivent ignorer. Depuis les premières applications dans les années soixante pour des ouvrages hydrauliques, l'utilisation des géomembranes sont progressivement étendue à la protection de l'environnement. Au niveau mondial, la tendance de son utilisation est à la croissance. La concurrence est donc forte sur ce marché, ce qui se traduit par une baisse du coût et par une diversification de l'offre.

II-2. Définition :

Par définition, les géomembranes sont des Géosynthétiques utilisés en génie civil dont la seule fonction est l'étanchéité. Elles sont manufacturées, avec une épaisseur minimale de 1 mm et conditionnées en rouleau de largeur supérieure à 1,5 m. Elles sont généralement utilisées pour remédier aux pertes d'eau par infiltration, ou pour éviter la migration de polluants dans le sol.

II-3. Différents types de Géomembrane :

En fonction de type de matériau et leurs élaborations, on peut citer les principales Géomembranes existante :

- Géomembrane a base de polyéthylène (PE)
- Géomembrane à base de polypropylène (pp)
- Géomembrane à base de polyéthylène (PE) et de polypropylène (pp)
- Géomembrane bitumineuse
- Géomembrane à base de (PVC)

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.

Les géomembranes PEHD sont disponibles sur le marché actuel dans des épaisseurs comprises entre 1 mm (en dessous, il ne s'agit plus de géomembrane) et 3 mm, pour des largeurs comprises entre 5 m et 11 m.

II.3.2. Géomembrane a base de polypropylène (PP)

Le polypropylène (PP) est un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à couler et n'absorbe pas l'eau.

On en trouve beaucoup sous forme de pièces moulées dans les équipements automobile (parchocs, tableaux de bord, habillage de l'habitacle) et dans le mobilier de jardin.

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) et les géomembranes.

Tandis que les géomembranes qui sont faites à base de polypropylène, généralement elles sont produites avec le polypropylène flexible (PPF) qui est très rigide, et qui peut atteindre (600%) d'allongement avant rupture car la résine de base (PP) contient un additif (éthylène-propylène) qui est de la famille des élastomères ce qui lui donne cette dernière. En plus de cet additif, on ajoute également à la résine de base du noir de carbone et d'autres stabilisants thermiques.

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 est nécessaire de bien inspecter sa fiche technique.

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).

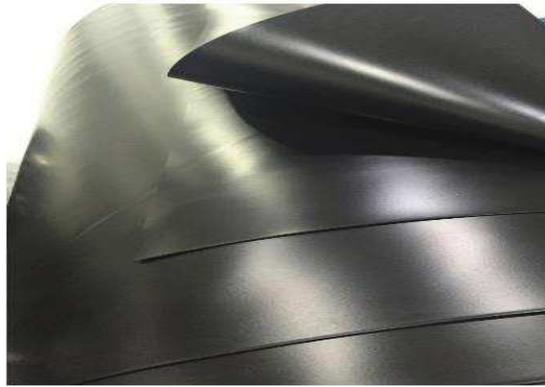


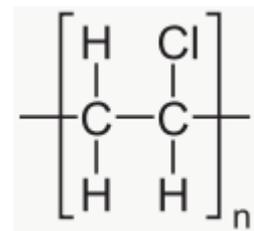
Figure II-3: Géomembrane en polypropylène flexible (PP F)

II.3.3. Géomembranes à bases de PVC :

Le PVC est un matériau thermoplastique dont l'abréviation signifie Polychlorure de Vinyle. En anglais, on le désigne par Plastified PolyVinyle Chloride. Il est fait essentiellement de sel de mer et du pétrole.

Et quand on parle de géomembrane fabriqué à base de PVC on parle de la géomembrane

PVC-P (polychlorure de vinyle plastifié) ce qui lui donne sa grande souplesse dû à l'ajout de lubrifiant (des hydrocarbures) qui vont lubrifier la structure moléculaire du PVC et la rendre souple, qui veut dire plus flexible, plus résistante, plus résiliente.



Monomère de PVC

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, géomembranes,...). Ces plastifiants sont de nature et d'origine variées et peuvent avoir tendance à migrer au sein de la résine PVC, vers la surface de la membrane ce qui conduit alors à sa rigidification irréversible et à sa rupture prématurée. Il est donc important d'obtenir toutes les garanties sur ces composants.

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



Figure II-4: geomembrane polychlorure de vinyle plastifié PVC P

II.3.4. Géomembrane EPDM :

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.

Un matériau vulcanisé est un produit qui a subi une réaction de polymérisation appelée la vulcanisation qui conduit à une structure moléculaire en réseau tridimensionnel irréversible.

Si on chauffe ce type de matériau vulcanisé, il n'y a pas de passage à l'état fondu permettant le soudage thermique. Le matériau va se dégrader en brûlant. Il n'est donc pas recyclable thermiquement. L'EPDM peut être recyclé mécaniquement par cryogénie puis broyage afin de servir de charges pour d'autres produits.

Les géomembranes EPDM sont constituées de différentes résines et de noir de carbone en quantité importante (< 40 %). 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 étanché.



Figure II-5 : Bassin étanchié par une géomembrane EPDM

II.3.5. Géomembrane à base des bitumes :

II.3.5.1. Définition :

Par définition, les bitumes 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.3.5.2. Géomembrane bitumineuse :

Les géomembranes bitumineuses sont des produits multi-composants constitués de la façon suivante :

- Un voile de verre,
- Un géotextile polyester (polymère résistant à la température d'imprégnation du bitume),
- Un liant bitumineux (taux de filler : maximum 35 %),
- Des charges telles que du sable en surface,
- Un film polyester.

Les fonctions principales que ces composants assurent sont :

- L'étanchéité assurée par le liant bitumineux,
- La résistance mécanique assurée par le géotextile non-tissé polyester (désigné par armature).

Les autres composants assurent les fonctions secondaires suivantes :

- Voile de verre : utilisé pour la fabrication de la géomembrane,
- Sable : protection de surface du bitume
- Film polyester : empêche la pénétration des racines dans la géomembrane.

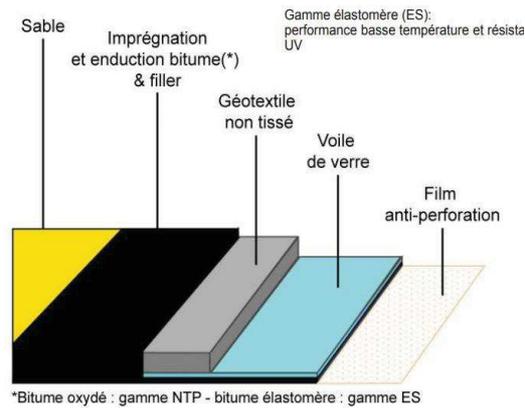


Figure II-5: Composants de la géomembrane bitumineuse

De plus, ces produits ont été utilisés pour l'étanchéité de bassins contenant des déjections animales, des saumures et différents effluents industriels.

Plus récemment, ces géomembranes ont été installées au fond et sur les talus de bassins de traitement des eaux usées et en Centres de Stockage des Déchets (CSD).

Enfin des géomembranes bitumineuses ont été installées en couverture de centres de confinement de déchets nucléaires faiblement radioactifs en France et aux USA.

À noter aussi, des emplois particuliers du fait de sa grande épaisseur et de sa haute résistance au poinçonnement par granulats comme l'utilisation directement sous le ballast en chemin de fer.



Figure II-6: Géomembrane bitumineuse soudée ou raccordée

II.4. Procédé de fabrication des géomembranes :

La fabrication des géomembranes commence par la fabrication des matériaux de base et les additifs. On distinguera trois grandes méthodes de fabrication par : l'extrusion, le calandrage, l'enduction.

II.4.1. L'extrusion :

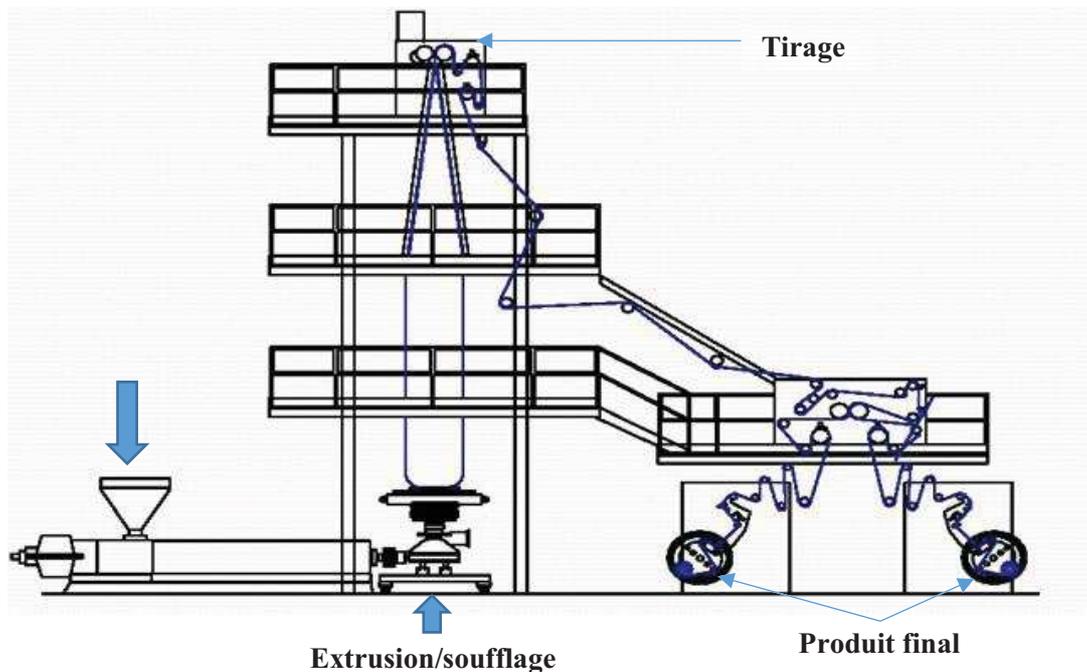


Figure II-7: Fabrication des géomembrane par extrusion

L'extrusion est un procédé de transformation en continu. Comme pour l'injection, le granulé entre dans un tube chauffé muni d'une vis sans fin. La matière homogénéisée est poussée, comprimée, puis passée à travers une filière pour être mise à la forme souhaitée. Pour la fabrication des géomembranes 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.

II.4.2. Le calandrage :

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.

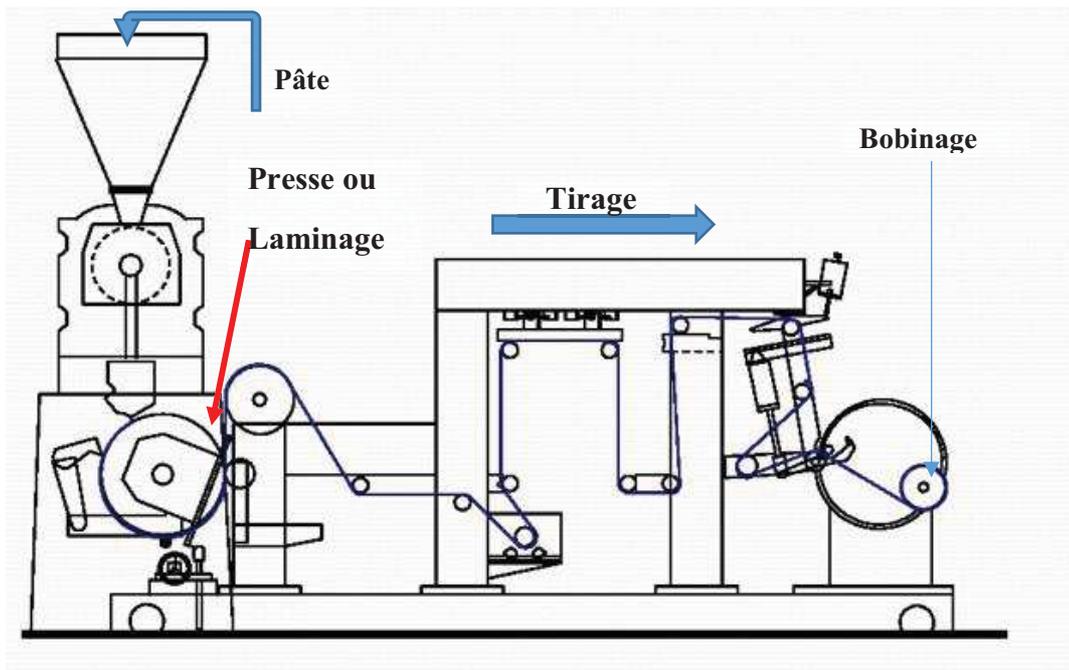


Figure II-9 : Fabrication des géomembranes par calandrage

II.4.3. L'enduction :

Un géotextile en général non tissé aiguilleté est utilisé comme matériau de base et pénétré par un polymère pour obtenir l'épaisseur finale.

II.5. Le soudage des géomembranes :

Etant donné la superficie de la plupart des ouvrages, des raccords entre les des géomembranes sont indispensables. Les soudures apportent des contraintes supplémentaires à la bonne mise en œuvre du dispositif d'étanchéité. En effet, le moindre défaut dans une soudure ou la moindre perforation dans la géomembrane entraîne d'importantes répercussions sur la qualité de l'ouvrage.

Les soudures sont réalisées selon un processus à l'air chaud ou à coin chauffant pour les matériaux tel que le PE, elles ne nécessitent pas d'apport de matière. On peut obtenir soit une mono soudure, soit une double soudure avec canal central (**Figure II-10**). La présence d'un canal central permet de contrôler l'intégrité, la continuité et l'étanchéité des soudures par thermographie infrarouge ou par l'essai destructif de pelage et la mise en pression du canal central.

Même si les défauts de soudure liés à la mise en œuvre peuvent être détectés lors de vérifications, les soudures demandent une attention particulière. En effet, quelques soit le type

de soudure effectuée, les zones soudées peuvent ensuite céder sous sollicitation tel que la traction et les pressions hydrostatique.

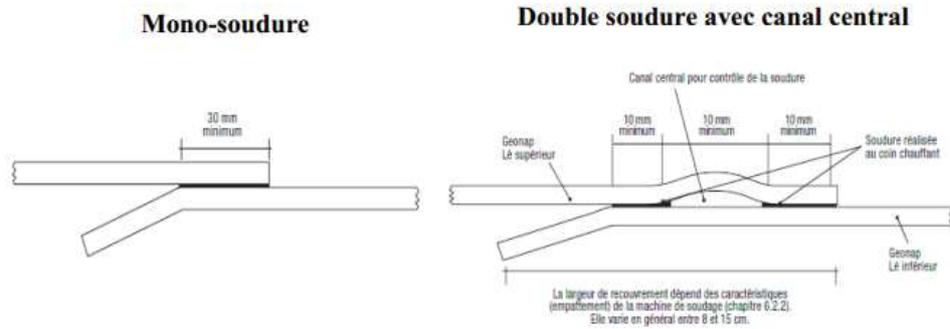


Figure II-8: Type de soudage des géomembrane PE

II.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a fait une synthèse bibliographique associé aux généralités sur les géomembranes ainsi nous avons décrit quelques types de géomembranes, leurs caractéristiques et leurs domaine d'utilisation. Et aussi nous avons décrit succinctement les procédés d'élaborations des géomembranes tel que l'extrusion et le calandrage et aussi raccordement entre les lié par soudage.

Chapitre III :

Géométrie

PEHD



III. Géomembrane PEHD :

III.1. Introduction :

Les polyoléfines représentent, en volume, environ les deux tiers de la production mondiale de polymères thermoplastiques. Cette famille est composée des différents types de polypropylènes et polyéthylènes. Parmi ces derniers, on retrouve le polyéthylène haute densité (PEHD) qui est un matériau largement répandu en Algérie et dans le monde, a su s'imposer dans de nombreuses applications du fait de ses propriétés intrinsèques sans cesse améliorées.

Les géomembranes de polyéthylène ont été développées exclusivement pour réduire la conductivité hydraulique des terrassements et sont l'un des systèmes d'étanchéité les plus sophistiqués et efficaces connus à ce jour. Elles sont aussi très fiables en environnements exposés grâce à leur excellente résistance à la friabilité en basses températures et leur protection supérieure à la dégradation due aux ultraviolets.

III.2. La Géomembrane PEHD :

La Géomembrane PEHD est fabriquée en polyéthylène haute densité, elle agit en tant que protection hydro isolante des sols. Elle sert à réaliser des écrans étanches à l'eau et au gaz.



Figure III-1: Géomembrane PEHD de 1 et 3 mm produite par Weifang Fuhua étanche Matériels Co en Chine.

III.3. Domaine d'utilisation :

III.3.1. La Géomembrane PEHD peut être utilisée pour :

➤ L'isolation des bâtiments

- Fondations et caves
- Terrasses et balcons
- Passages des tuyaux et d'autres
Conduits dans les fondations



➤ Isolation des ouvrages de génie civil

- Réservoirs d'eau
- Réservoirs anti-incendie
- Réservoirs à l'huile



➤ Isolations dans le domaine de la protection de l'environnement

- Réservoirs d'évaporation
- Stations de traitement des eaux usées
- Décharges de déchets
- Stations d'essence
- Barrages
- Digues insubmersibles



III.4. Caractérisation Mécanique de la Géomembrane :

La Géomembrane PEHD se caractérise mécaniquement par :

- ses propriétés au seuil d'écoulement (cela correspond à la limite élastique du matériau ce qui veut dire que lorsqu'on dépasse ce seuil, on endommage le matériau),
- ses propriétés à la rupture.

Ces deux caractéristiques, seuil et rupture, se situent respectivement à des déformations de l'ordre de 10 % (de 10 à 14 selon les produits) et de 700 % environ si on considère une sollicitation uni axiale (dans une seule direction). Le PEHD est le matériau le moins déformable de tous ceux constituant aujourd'hui les géomembranes. Il est réputé « rigide ».

Les polyéthylènes les plus rigides ont un allongement au seuil d'écoulement plus faible que les autres et une résistance au seuil plus élevée.

Il faut bien avoir à l'esprit que c'est cette valeur de l'allongement au seuil qui est importante dans la mise en œuvre des géomembranes PEHD et non l'allongement à la rupture. Lorsque vous appliquez une Géomembrane et qu'elle vous paraît trop tendue, il faut imaginer que lorsque le bassin ou le casier sera rempli, la Géomembrane va devoir s'allonger sous le poids de l'eau ou des déchets et qu'il y a un risque de dépasser rapidement les 10 % d'allongement.

Moralité, une Géomembrane PEHD ne doit jamais être trop tendue. Tout soudeur de PEHD a pu constater que ce matériau brûle facilement en dégageant une fumée noire, non toxique, et une odeur de bougie. Sans intervention, le PEHD continue de brûler ce qui explique les dégâts que l'on rencontre de temps en temps dans les centres de stockage de déchets après un incendie.

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 PEHD, sa dilatation : lorsque la température extérieure augmente, le PEHD se dilate pour former des ondes (ou plis) qui peuvent gêner la pose et le soudage des lés.

Les géomembranes PEHD les plus utilisées sont des membranes lisses; pour obtenir des coefficients de frottement plus importants, on utilise aussi des géomembranes texturées.

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 y a lieu de citer la résistance au poinçonnement, mais aussi le frottement, le fluage et le déchirement sur les cailloux pointus est le risque principal qui doit être géré à la mise en œuvre.

III.5.Aspects Thermiques et Température de Transition Vitreuse :

L'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 fabricant de la Géomembrane doit indiquer la valeur du coefficient de dilatation thermique dans la fiche technique. Ce coefficient est de $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ à 20°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 ($\leq 0^{\circ}\text{C}$) 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 la température 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 inférieure -30°C ; d'autre part, la température de fusion des géomembranes, qui est la limite entre l'état viscoélastique et l'état fondu, doit être bien supérieure à 80°C .

III.5.1. Chauffage, Chaleur de fusion :

Chaque plastique a une température optimale pour sa fusion, que nous devons vérifier avant de débiter le travail. C'est la différence fondamentale entre les différents types de plastique, que nous devons connaître et respecter, étant donné que des températures inférieures à celle indiquée ne permettront pas de finaliser le procédé de soudure et, si elles sont supérieures, elle provoquerait une dégradation du plastique.

III.6. 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 haute densité est plus résistant aux agressions chimiques que le polyéthylène à basse densité linéaire.

Cependant, les HDPE peuvent être sensibles à la fissuration sous contrainte en présence de certains agents, ce qui n'est pas le 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 stabilisateurs 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 le PEBDL.

III.6.1. 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.6.2. 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 géo synthétiques.

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 (hydro peroxyde)	36

Tableau III-1: Énergies de liaison moléculaires typiquement rencontrées dans les polymères utilisés pour la fabrication de géo synthétiques

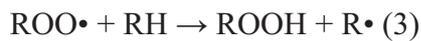
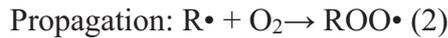
La dégradation thermique se produit normalement à l'étape de la mise en forme du produit où la résine est portée à des températures élevées. Les modifications de structures ainsi causées affectent non seulement les propriétés finales de la résine, mais sensibilisent également cette dernière à d'autres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



- 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 hydro peroxyde et un autre radical libre.



En plus du radical libre $\text{R}\cdot$ régénéré par la réaction 3, les hydro peroxydes 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 $\text{RO}\cdot$ et $\cdot\text{OH}$.

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.

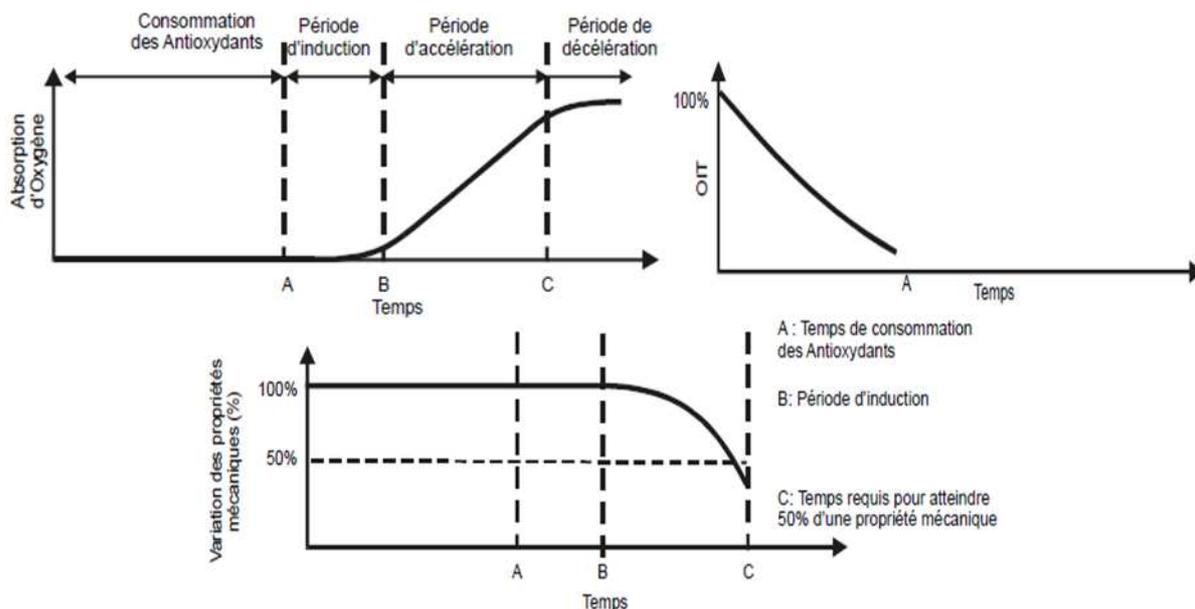


Figure III-2: Les différentes étapes de la dégradation par Thermo-oxydation du polyéthylène

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.

III.6.3. 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'antioxydant 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.

III.6.4. 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, tandis que l'angle du matériau avec les rayons incidents (angle des pentes et leur orientation), la présence d'écrans (poussières, végétation...), de surfaces réfléchives situées à proximité et de nombreux autres facteurs locaux influenceront 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 des réactions 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.

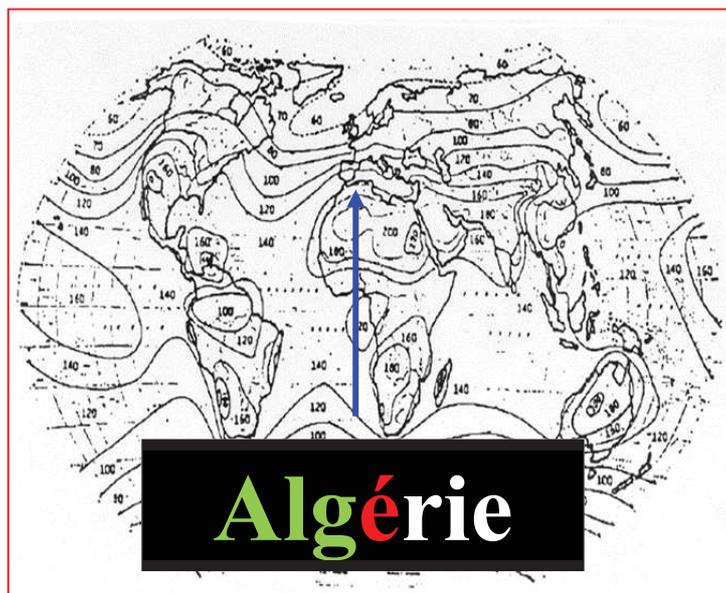


Figure III-3: Distribution annuelle moyenne de la radiation solaire sur la terre (kLy); La flèche situe la position de l'Algérie

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 microbologique 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.2.3 Avantages et Inconvénients du PEHD :

III.2.3.1 Avantages :

- Haute résistance chimique.
- Sans assouplissement et sans halogène.
- Haute résistance à l'usure.
- moindre densité comparé au pvc plus léger.
- Résistant aux intempéries et aux
- Résistant au microorganisme, aux racines et aux rongeurs.
- Haute flexibilité.
- Neutralité physiologique.

III.2.3.2 Inconvénients :

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



Partie

Pratique



Chapitre I:
Caractérisation
de la
Géomembranes
PEHD



I. Caractérisation de la géomembrane PEHD

I.1. 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 uni axiale, un essai de poinçonnement et à la fin un essai physico-chimique.

I.2. Essais de traction :

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.

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 de tous ces paramètres, une analyse de ces derniers sera engagée afin de commenter tous les aspects phénoménologiques qui s'y présentent.

I.2.1. 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:

Propriété	Caractéristiques	Méthode d'essai	Unité	PEHD
Physique	masse volumique		G/cm ³	0.925-0.956
	taux de cristallinité		%	75-80
	masse molaire moyenne		g/mol	10000

Mécanique	Contrainte à la rupture	BS.2782 :301.E	Mpa	13-25
	Module de traction		Mpa	200-300
	Module de flexion		Mpa	60-400
	Dureté (shore)		Echelle D	41-60
Thermique	T° de fusion	BS.2782 :pt2	C°	120-136
	T° vicat		C°	85-87
	Tg	ASTM :	C°	Environ -110
	Plage de T° de résistance	D955-51	C°	De 70 à +60
	Retrait au moulage		%	1.5-3.5
Electrique	Cte diélectrique MHz	BS.2782 : Pt2	$\Omega.cm$	2.25—
	Résistivité volumique			$2.35 > 10^{18}$

Tableau I.1: fiche technique du PEHD

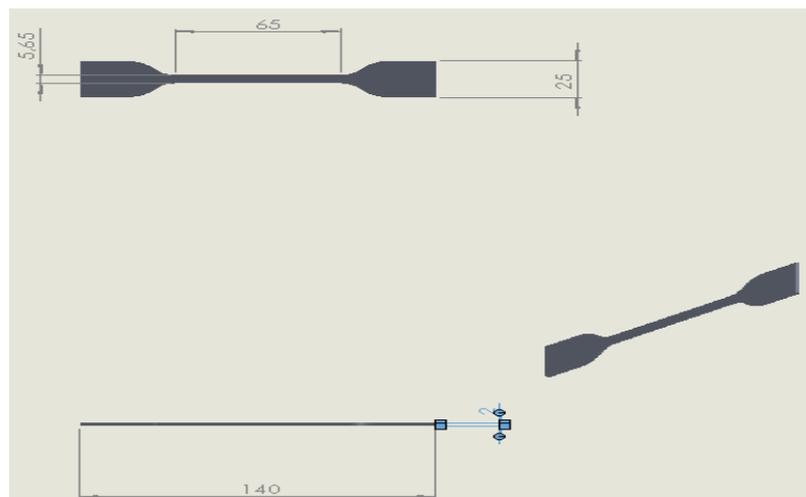


Figure I-1 : Représentation de l'éprouvette normalisée

I.2.2 Réalisation des éprouvettes pour caractérisation mécanique :

Les échantillons utilisés sont sous forme de films de dimension $140\text{ mm} * 5,65\text{ mm} * 2\text{ mm}$ de section $s_0 = 11,3\text{ mm}^2$ et avec $L_0 = 65\text{ mm}$ (figure I-1)

Ces éprouvettes sont découpées à l'aide d'un balancier et d'un emporte-pièce normalisé comme la montre la figure (Figure I-2)

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

Dimmension des éprouvettes	Valeur	Unité
Lanngueur entre repères (L_0)	65	mm
Largeur (l)	5,6	mm
Epaisseur (e)	2	mm
Section initiale (S_0)	11,3	mm ²

Tableau I-1 : Balancier ‘‘polycad’’ pour découper les éprouvettes en altère.



Figure I-3 : moule utilisé pour la réalisation des éprouvettes



Figure I-4 : balancier « polycad » pour découper les éprouvettes en altère

I.2.3. Préparation des éprouvettes :

Afin de déterminer les caractéristiques mécaniques usuelles on a choisi de faire l’essai de traction et pour cela, nous avons fait plusieurs éprouvettes à différents angles de découpe et à des vitesses de sollicitation variantes.

I.2.3.1. Angles de découpes :

Pour les angles de découpes on a choisi en tout six angle, deux angles principaux ; l’angle longitudinal ($\theta_1=0^\circ$) et l’angle transversal ($\theta_6 = 90^\circ$) ainsi que des angles secondaire ($\theta_2=10^\circ$), ($\theta_3=20^\circ$), ($\theta_4=35^\circ$) et l’angle ($\theta_5=45^\circ$).

I.2.3.2. Vitesses de sollicitation :

$V_1 = 10 \text{ mm/min}$

$V_2 = 20 \text{ mm/min}$

$V_3 = 30 \text{ mm/min}$

I.2.4. Principe de l'Essai de traction :

L'essai de traction, est l'essai mécanique le plus classique pour étude de la déformation plastique des matériaux. Il consiste à imposer un allongement à une éprouvette de section initiale S_0 et de longueur utile L_0 , L'éprouvette est soumise à un allongement croissant.

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'entraînement à vitesse de déplacement imposée ainsi qu'à un système dynamométrique.

L'éprouvette au repos présente une longueur initiale L_0 et une largeur initiale l_0 , lorsque les efforts sont appliqués axialement, un allongement est constaté suivant la longueur L , tandis que sa largeur l , la figure ci-apres nous montre notre machine à traction uniaxial



Figure I-5 : Machine à traction de type ibertest.



Figure I-6 : Eprouvette à l'état initial



Figure I-I-7 : Eprouvette apres traction à un taux de déformation de plus de 100% .

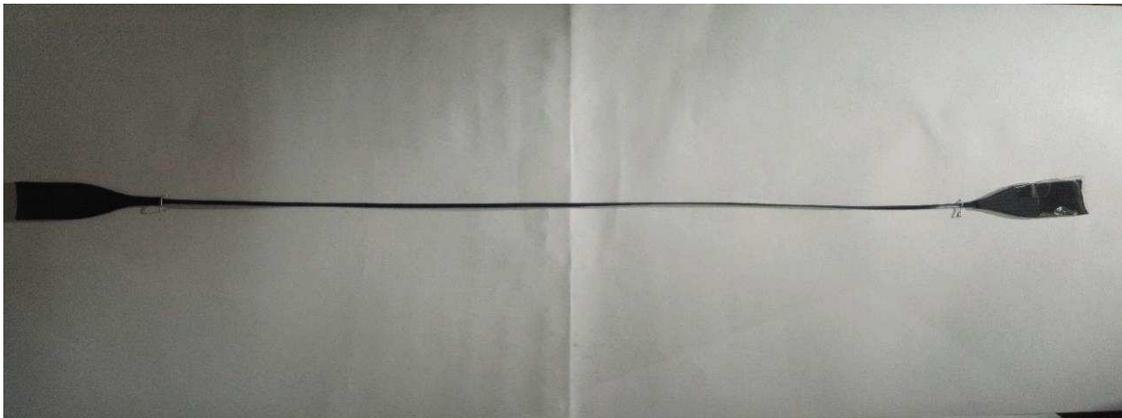


Figure I-I-8: Eprouvette à la fin de l'essai de traction avec un taux de déformation allant jusqu'à 400%.

I.2.5. Propriétés mécaniques caractéristiques usuelles :

I.2.5.2. 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 différentes directions telles que : $\theta=0^\circ$, $\theta=10^\circ$,

Ensuite ces éprouvettes sont sollicitées à différentes vitesses de traction telles que : $V=10$, $V=20$ et $V=30$ mm/min.

Enfin les essais sont menés selon un protocole paramétrique associé aux angles de découpe et aux vitesses de sollicitation : (θ_i-V_i) .

I.2.5.2.1. Courbe contrainte déformation selon le couple $(\theta_i ; V_i)$:

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique $(\theta=0^\circ ; V=10$ mm/mn) :

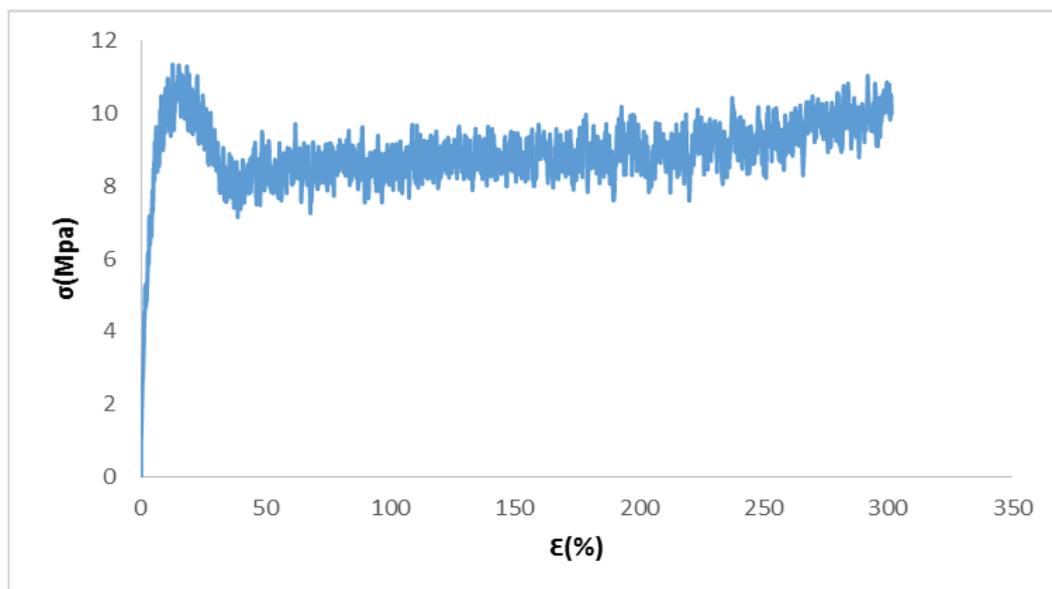


Figure I-9 : Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/mn) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$).

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique $(\theta=0^\circ ; V=20$ mm/mn) :

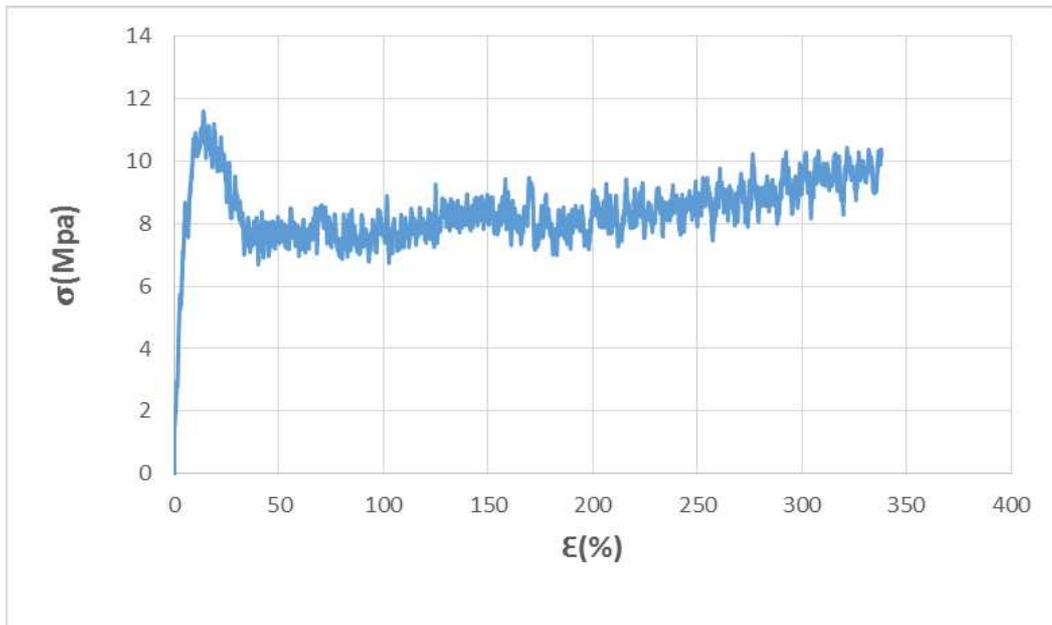


Figure I-10: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/mn) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=0^\circ$; $V=30$ mm/mn) :

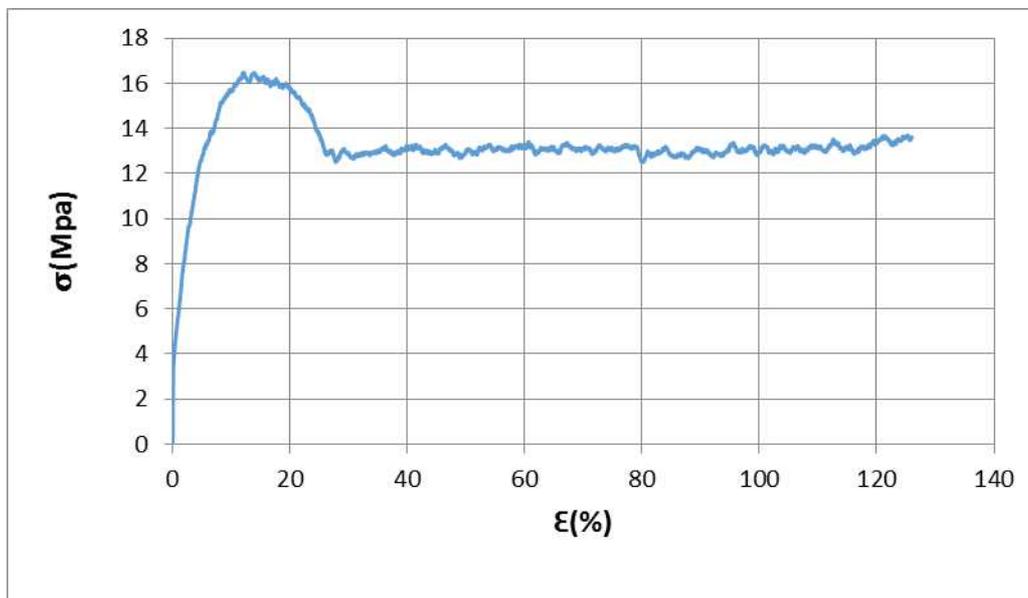


Figure I-11 : courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$).

Courbes contraintes-déformations associées aux différentes vitesses de sollicitation à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$) :

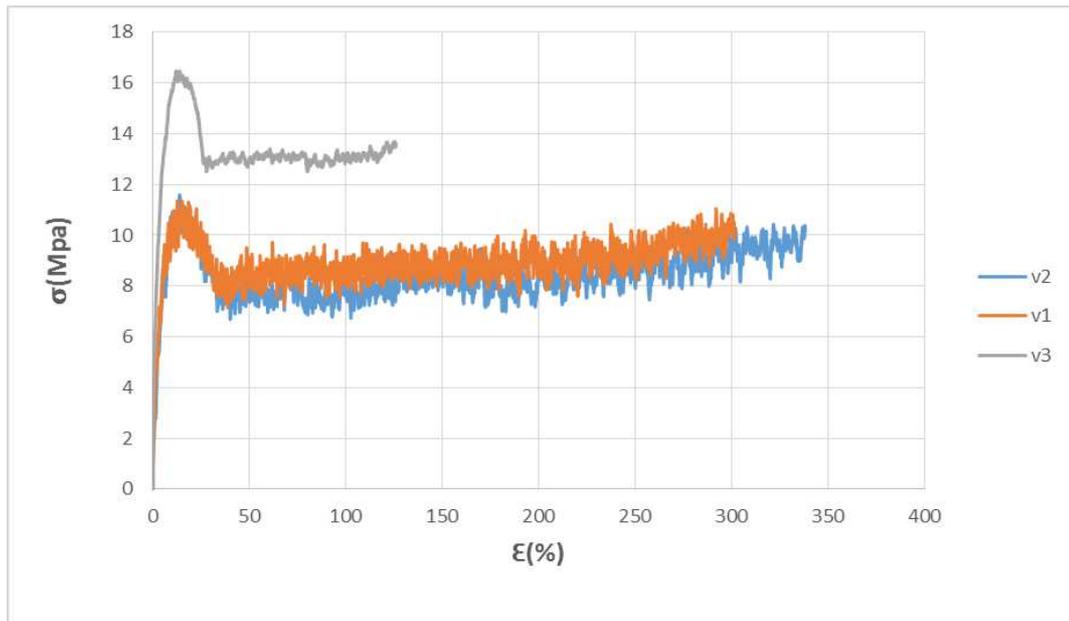


Figure I-12 : Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$).

Conclusion :

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées selon le protocole paramétrique ($\theta=0^\circ$; V_i) présentent un comportement élastoviscoplastique 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 I.3, ci-dessous.

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

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=10^0$; $V=10$ mm/mn) :

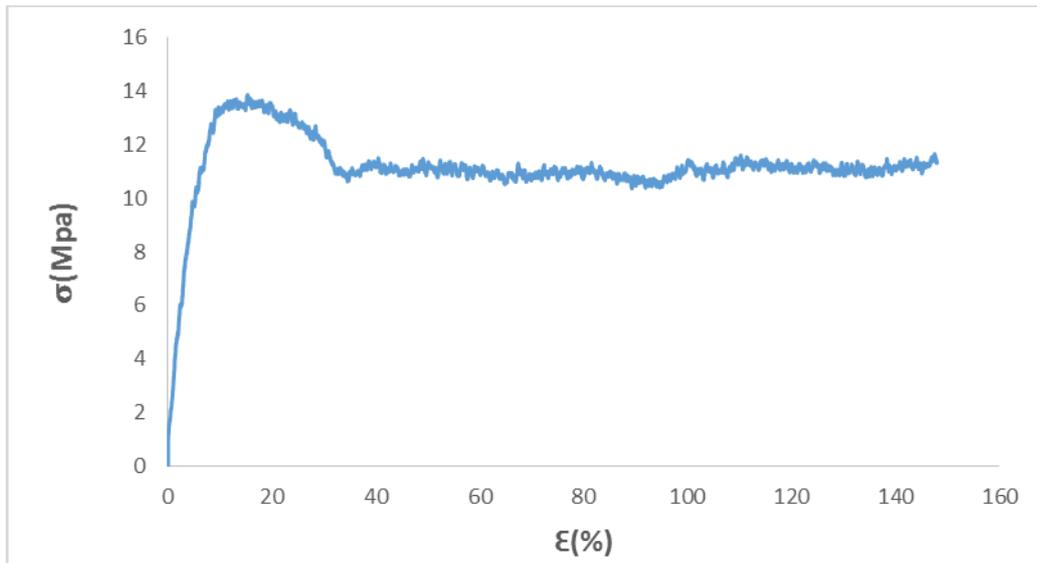


Figure I-13: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min à angle de découpe constant ($\theta=10^0$))

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=10^0$; $V=20$ mm/mn) :

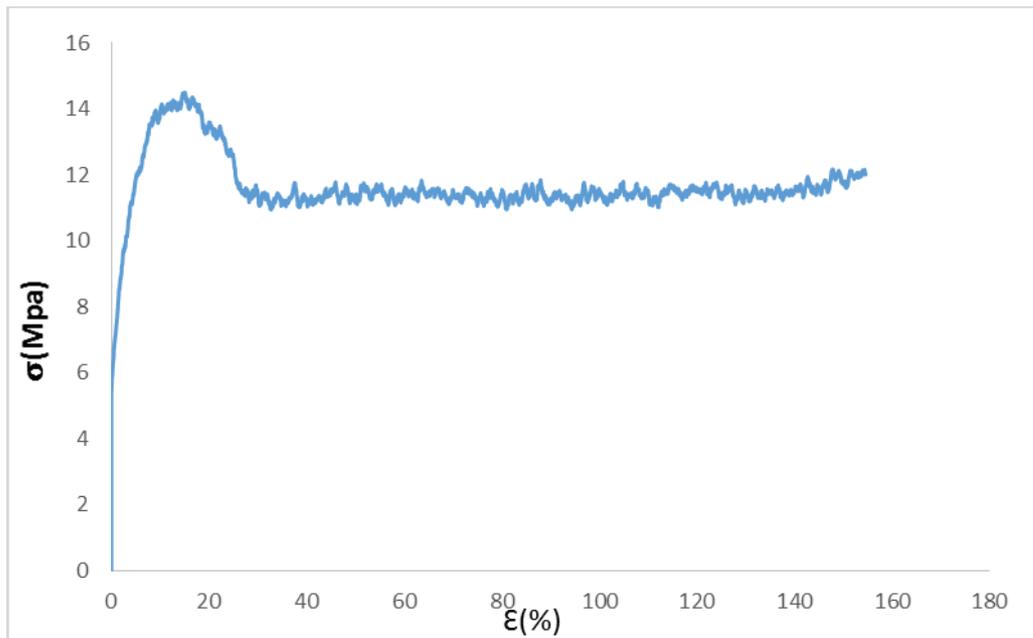


Figure I-14: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^0$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=10^0$; $V=30$ mm/mn) :

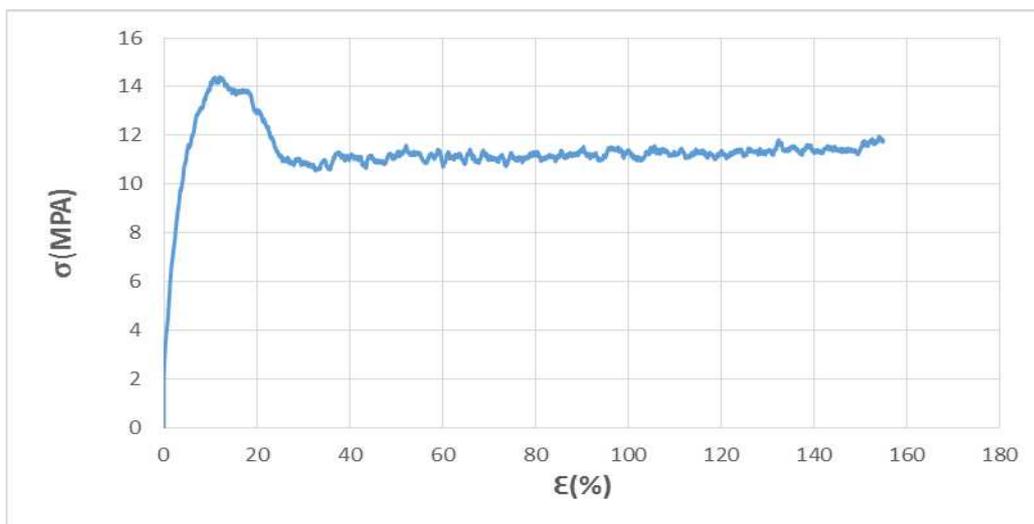


Figure I-15: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^0$)

Courbes contraintes-déformation associées aux différentes vitesses de sollicitation à angle de découpe constant ($\theta=10^0$) :

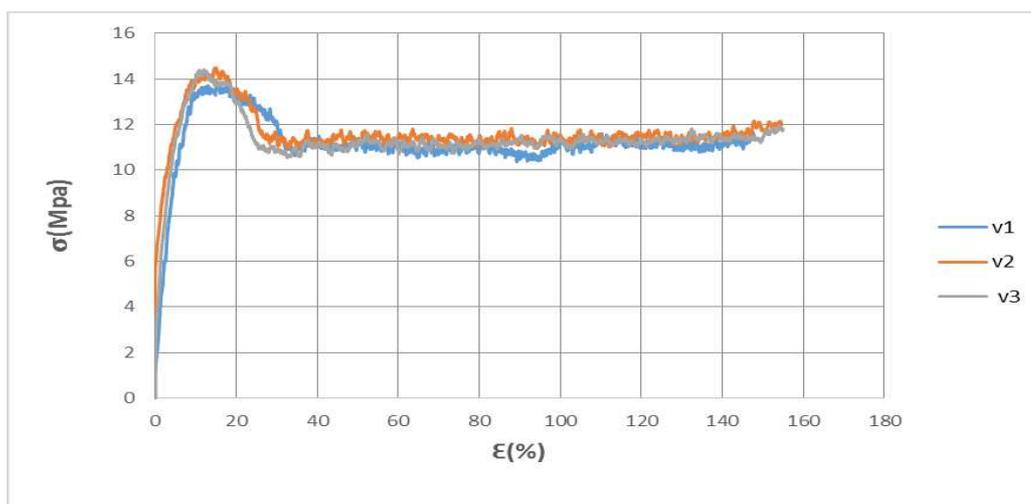


Figure I-16: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^0$)

Conclusion :

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées selon le protocole paramétrique ($\theta=10^0$; V_i) présentent un comportement élastoviscoplastique 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 I.4., ci-dessous.

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

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=20^\circ$; $V=10$ mm/mn) :

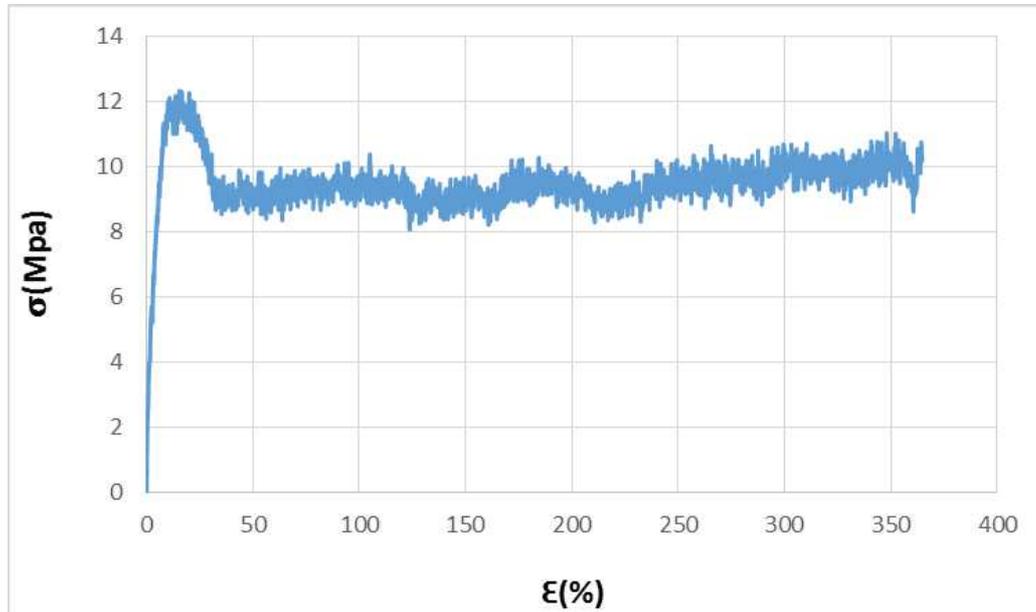


Figure I-17: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante $V=(10$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=20^\circ$; $V=20$ mm/mn) :

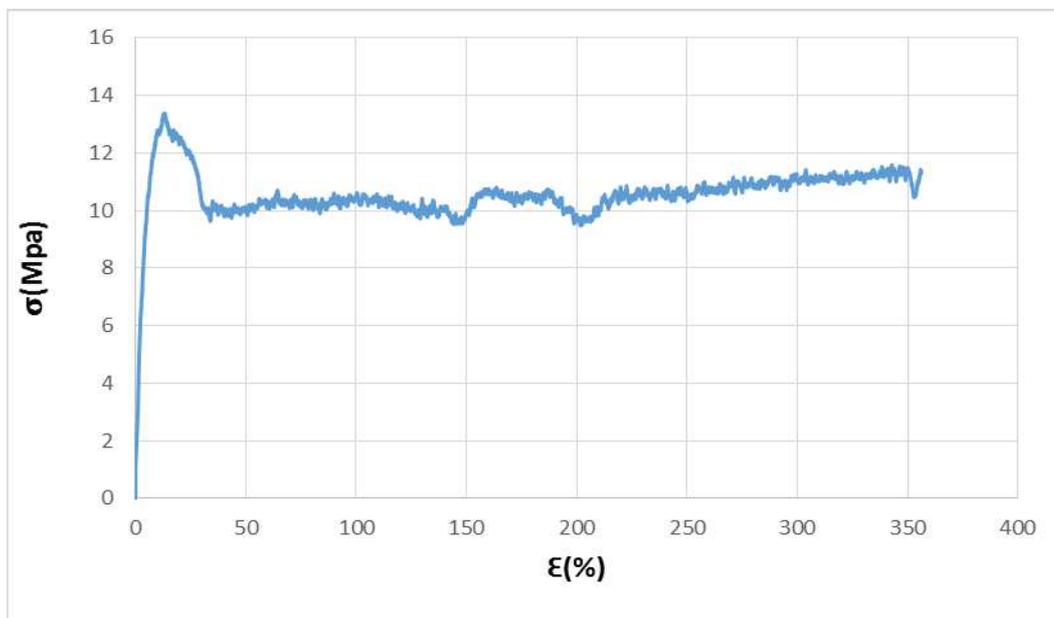


Figure I-18: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=20^\circ$; $V=30$ mm/mn) :

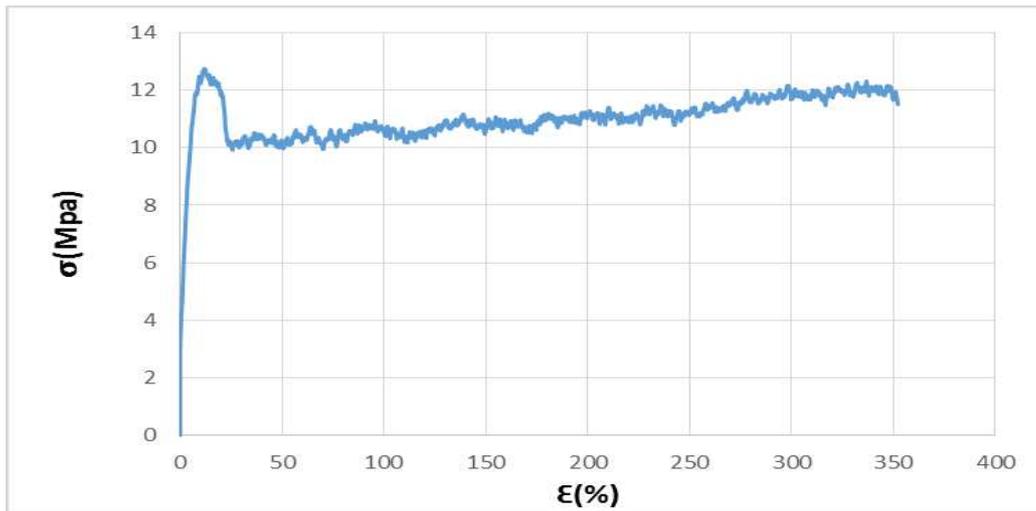


Figure I-19: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$).

Courbes contraintes-déformation associées aux différentes vitesses de sollicitation à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$) :

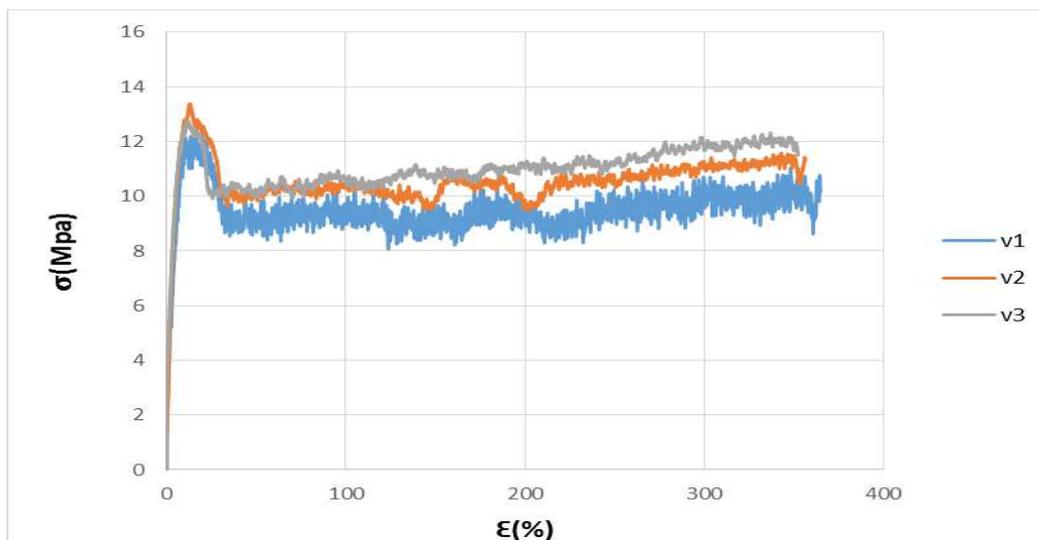


Figure I-20: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

Conclusion :

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées selon le protocole paramétrique ($\theta=20^\circ$; V_i) présentent un comportement élastoviscoplastique 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 I.5., ci-dessous.

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

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=35^\circ$; $V= 10$ mm/mn) :

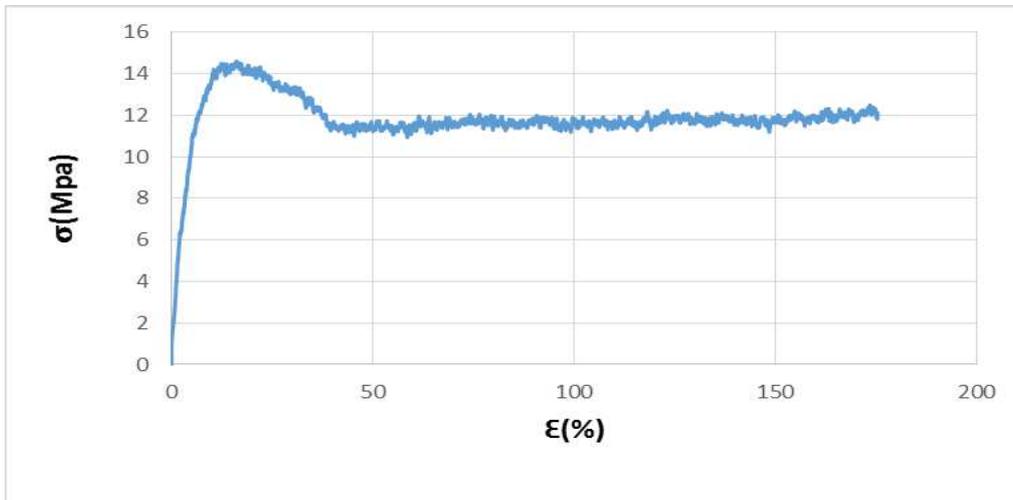


Figure I-21: : Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=35^\circ$; $V= 20$ mm/mn) :

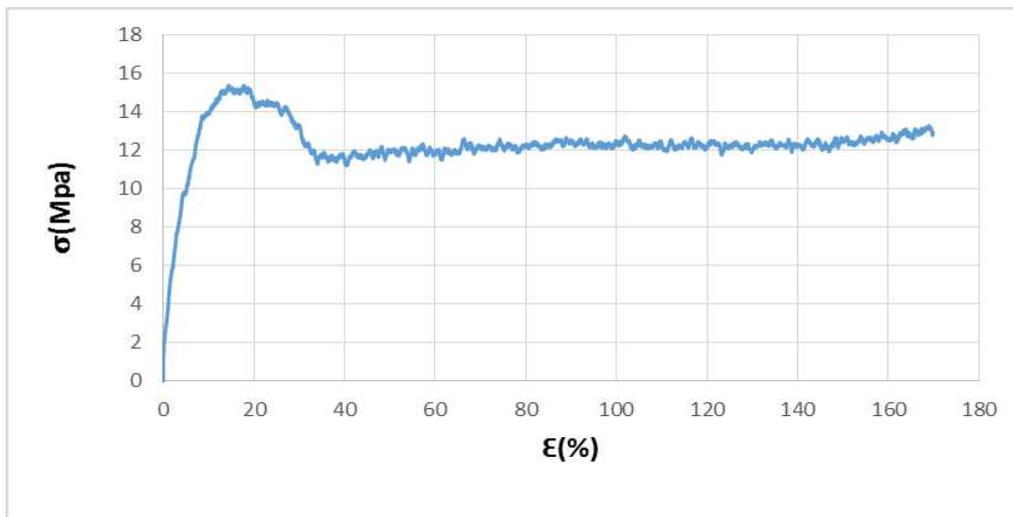


Figure I-22: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=35^{\circ}$; $V= 20$ mm/mn) :

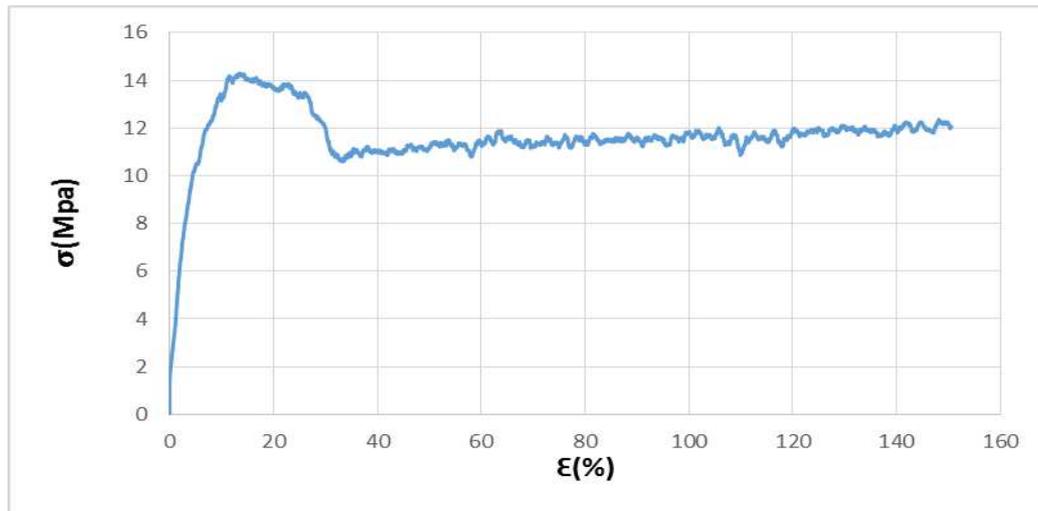


Figure I-23: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=35^{\circ}$)

Courbes contraintes-déformations associées aux différentes vitesses de sollicitation à angle de découpe constant ($\theta=35^{\circ}$) :

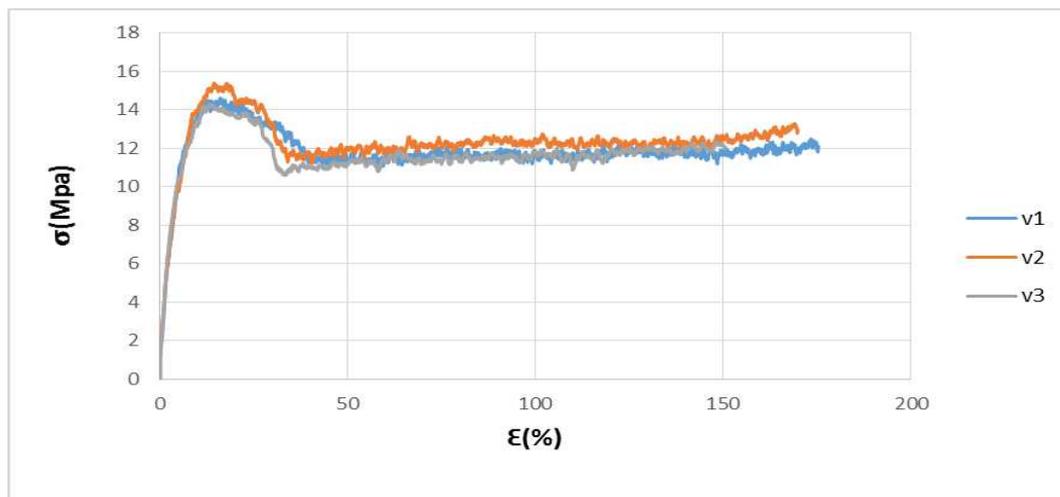


Figure I-24: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation (V (mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=35^{\circ}$)

Conclusion :

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées selon le protocole paramétrique ($\theta=45^{\circ}$; V_i) présentent un comportement élastoviscoplastique 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 I.6., ci-dessous. Les résultats obtenus sont en accord avec les références usuellement admises et les normes en vigueur.

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=45^\circ$; $V= 10$ mm/mn) :

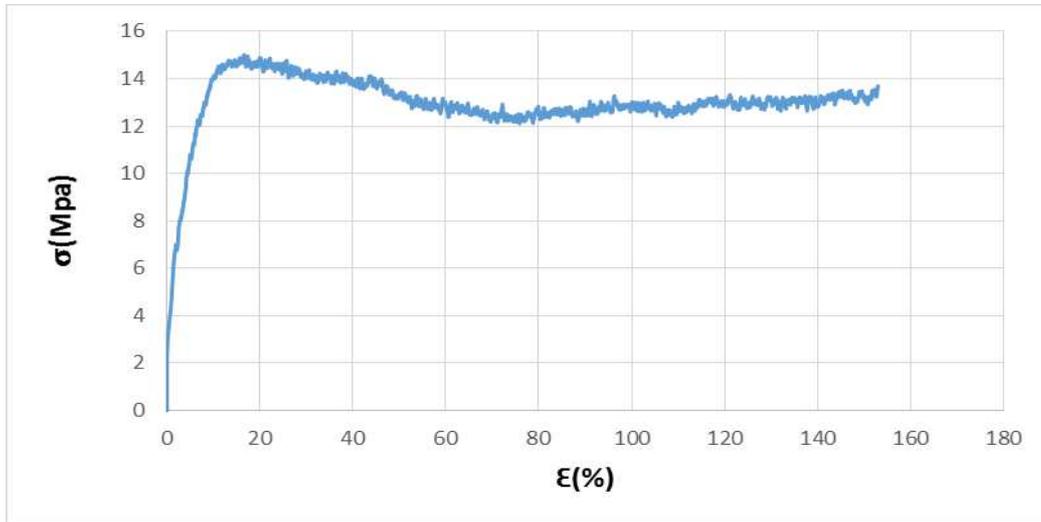


Figure I-25: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=45^\circ$; $V=20$ mm/mn) :

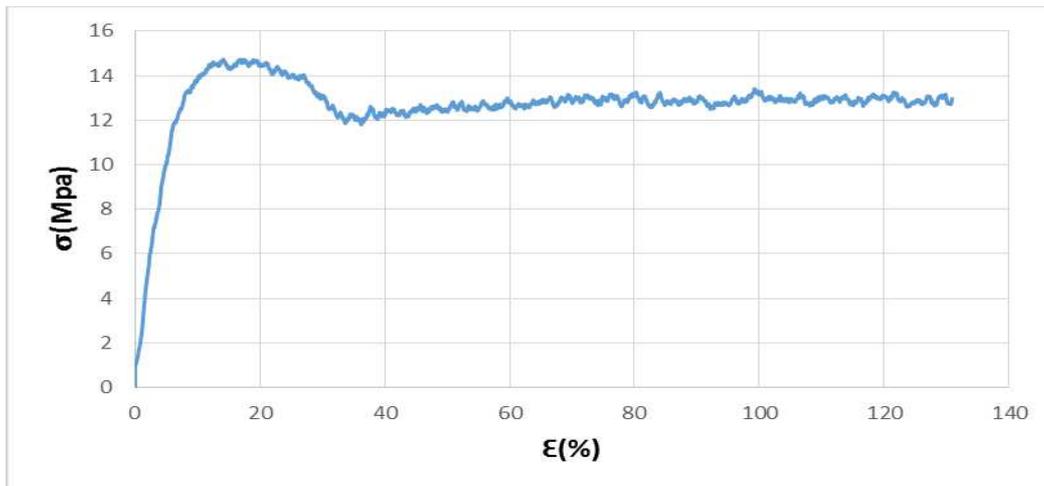


Figure I-26: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=45^\circ$; $V= 30$ mm/mn) :

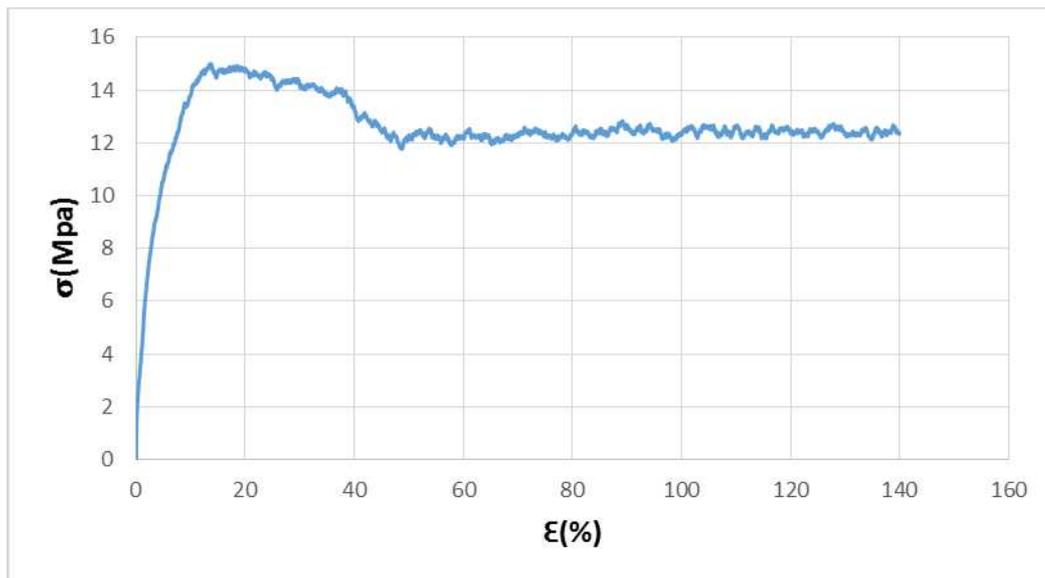


Figure I-27: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$).

Courbes contraintes-déformations associées aux différentes vitesses de sollicitation à angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$) :

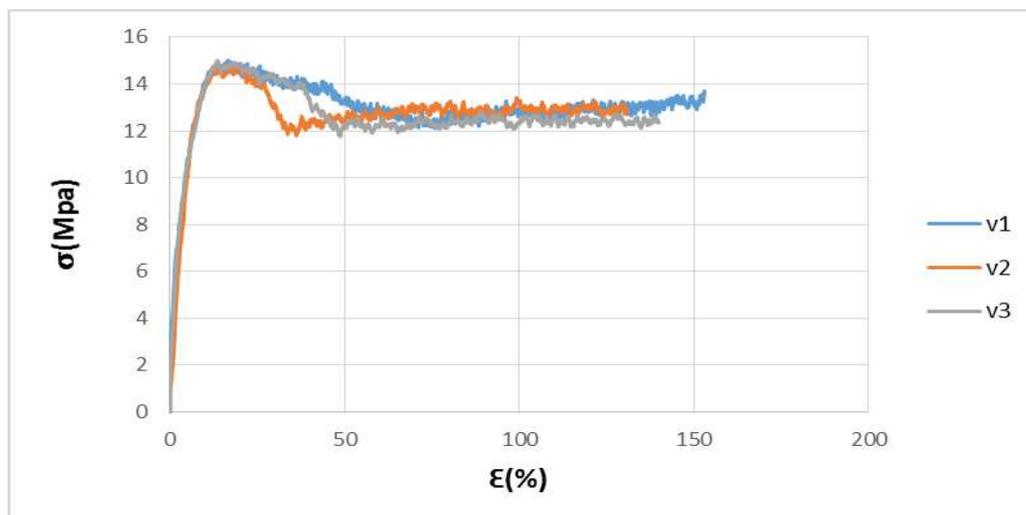


Figure I-28: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation (V (mm/min) et angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

Conclusion :

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées selon le protocole paramétrique ($\theta=45^\circ$; V_i) présentent un comportement élastoviscoplastique 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 I.7., ci-dessous. Les résultats obtenus sont en accord avec les références usuellement admises et les normes en vigueur.

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=90^0$; $V= 10$ mm/mn) :

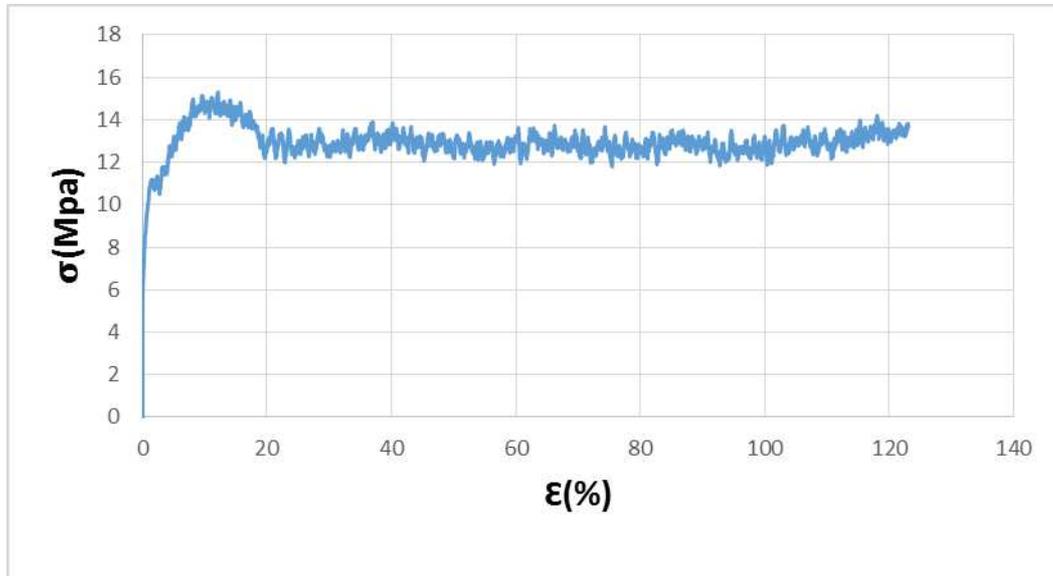


Figure I-29: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min) et angle de découpe constant ($\vartheta=90^{\circ}$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=90^0$; $V= 20$ mm/mn) :

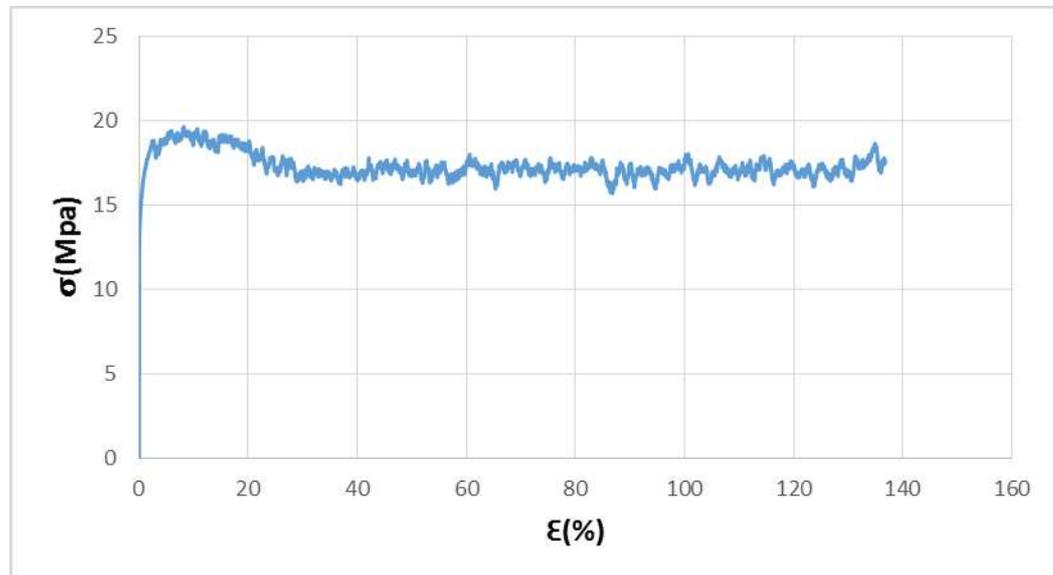


Figure I-30: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min) et angle de découpe constant ($\vartheta=90^{\circ}$)

Courbe contrainte déformation selon le couple paramétrique ($\theta=90^0$; $V= 30 \text{ mm/mn}$) :

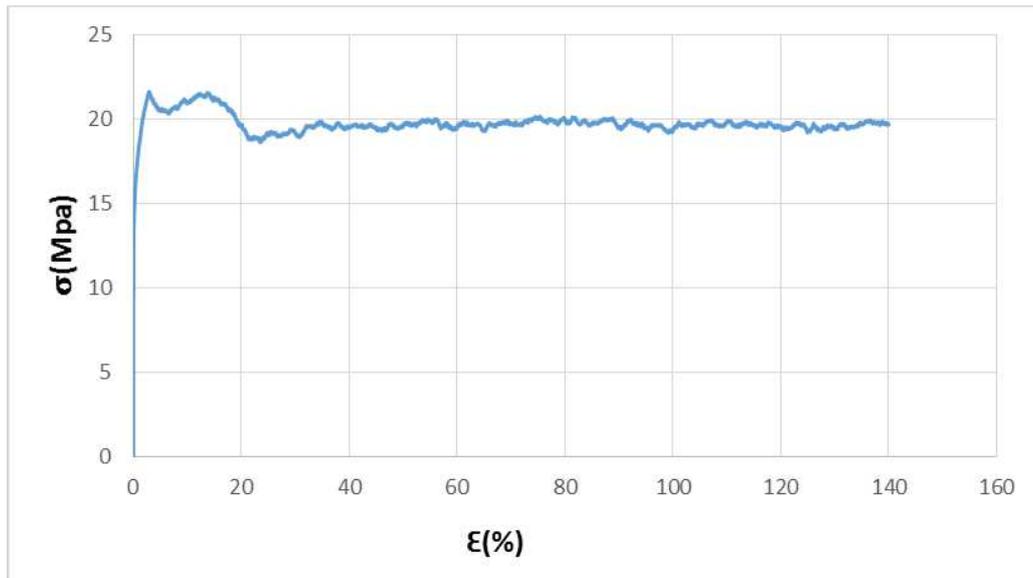


Figure I-31: Courbe contrainte-déformation à vitesse de sollicitation constante ($V=30 \text{ mm/min}$) et angle de découpe constant ($\vartheta=90^{\circ}$)

Courbes contraintes-déformations associées aux différentes vitesses de sollicitation à angle de découpe constant ($\theta=90^{\circ}$) :

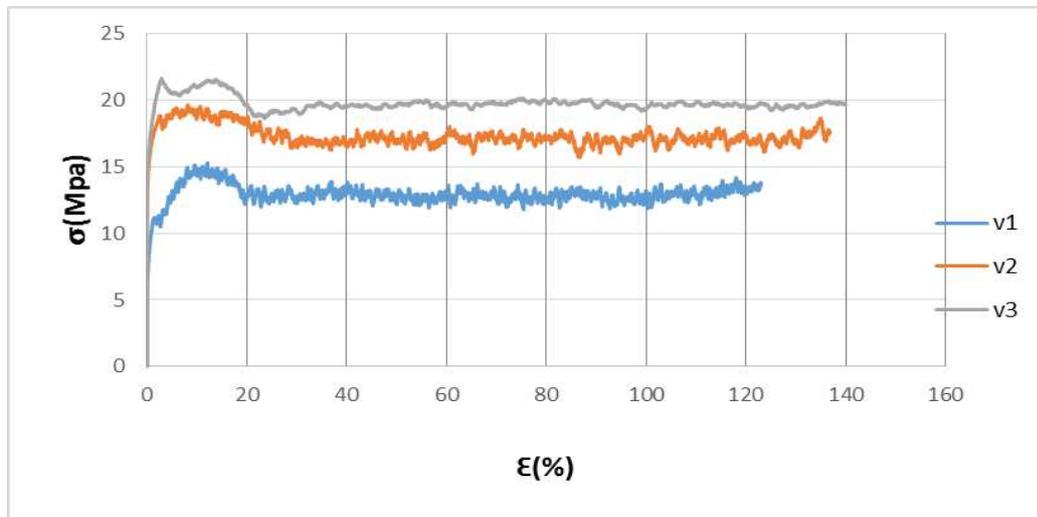


Figure I-32: Courbes contraintes-déformations à différentes vitesses de sollicitation $V \text{ (mm/min)}$ à angle de découpe constant ($\vartheta=90^{\circ}$)

Conclusion :

L'analyse des courbes contraintes déformation associées aux éprouvettes de la géomembrane PEHD sollicitées selon le protocole paramétrique ($\theta=90^{\circ}$; V_i) présentent un comportement élastoviscoplastique 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 I.8., ci-dessous.

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

I.2.5.2.2. Propriétés mécaniques Caractéristiques, des géomembranes PEHD, obtenues selon le protocole paramétrique (θ_i ; V_i) :

Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=0^0$; V_i) :

Vitesses de sollicitations	Propriétés mécaniques caractéristiques								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E(Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
V=10 mm/min	11.14	17.61	86.24	7.36	9.98	8.42	39.93	301.4	170.16
V=20 mm/min	11.59	13.87	121.42	7.00	10.23	8.24	33.35	338	185.67
V=30 mm/min	16.47	12.12	126.59	12.76	13.60	13.20	27.49	125.99	76.75

Tableau I.3. Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de la vitesse de sollicitation {V}

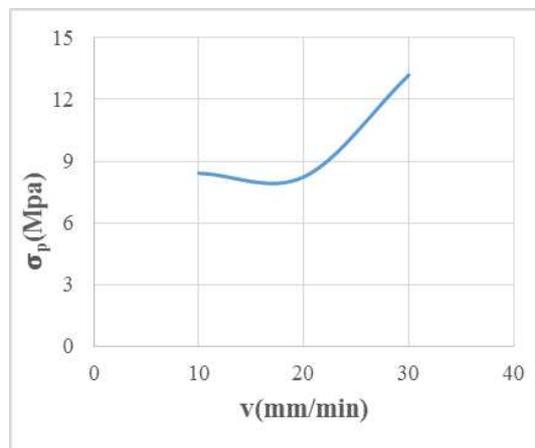


Figure I-33: Évolution de la contrainte au plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^0$)

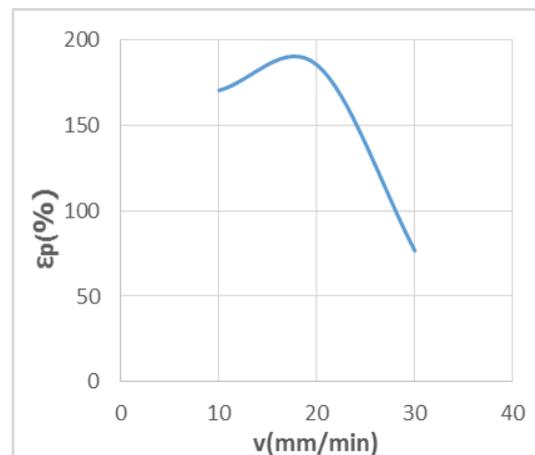


Figure I-34: Évolution de taux de la déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^0$)

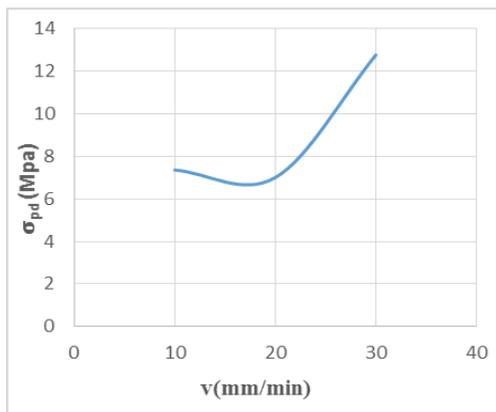


Figure I-35: Évolution de la contrainte au début du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

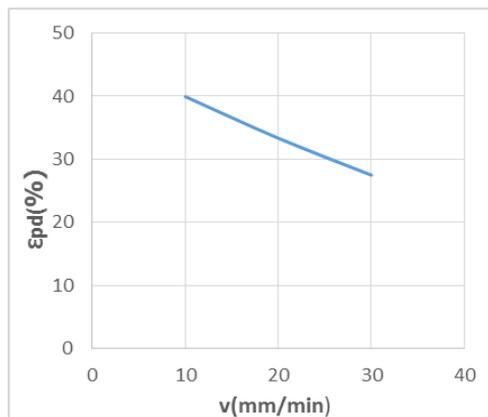


Figure I-38: Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

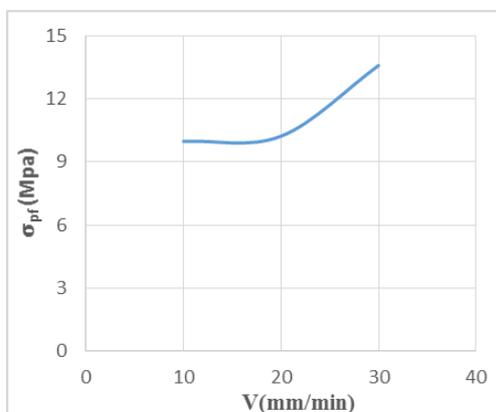


Figure I-36; Évolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

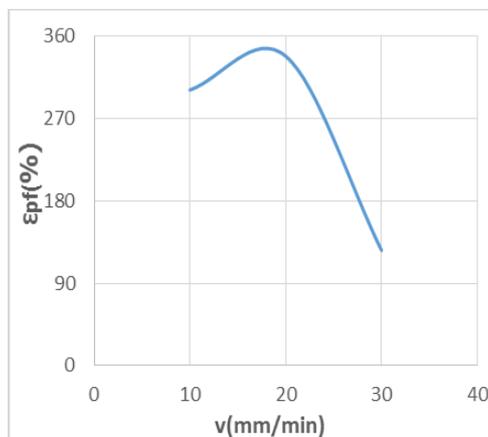


Figure I-39: Évolution de taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

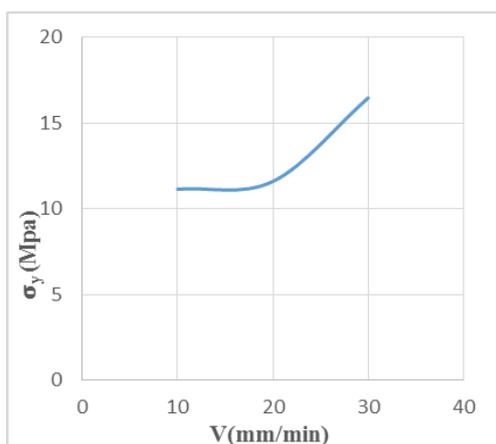


Figure I-37: Évolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

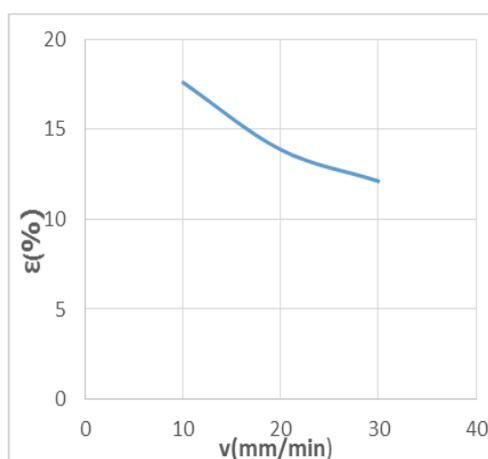


Figure I-40: Évolution de taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

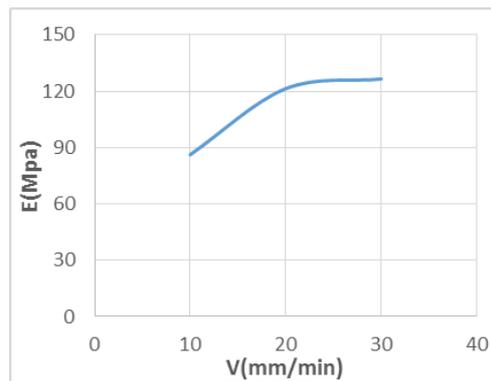


Figure I-41: Évolutions du module de Young E(Mpa) en fonction de vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

Conclusion :

L'analyse l'évolution de la contrainte au seuil d'écoulement et du taux de déformation correspondant en fonction de la vitesse de sollicitation selon le protocole paramétrique ($\theta=00$; Vi) présentent un comportement pseudo-linéaire.

Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=100$; Vi) :

Vitesses de sollicitations	Propriétés mécaniques caractéristiques								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E(Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
V=10 mm/min	13.87	15.28	118.73	10.93	11.40	11.28	32.18	180	106.9
V=20 mm/min	14.49	14.98	122.16	11.48	11.99	11.40	26.70	154.6	90.6
V=30 mm/min	14.41	12.08	121.8	10.87	11.76	11.17	27.04	154.92	90.98

Tableau I.4. Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de la vitesse de sollicitation {V}

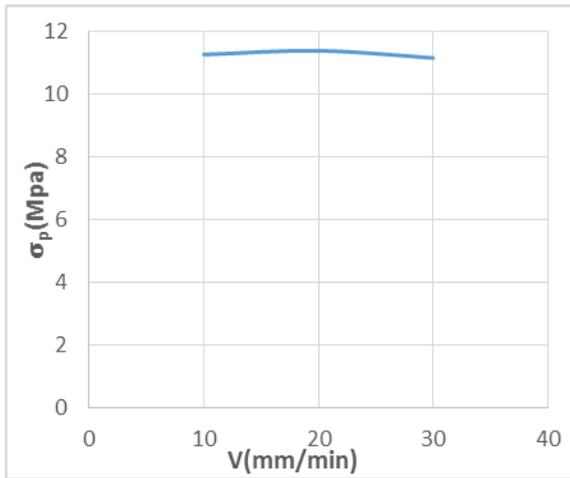


Figure I-42. Évolution de la contrainte au plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

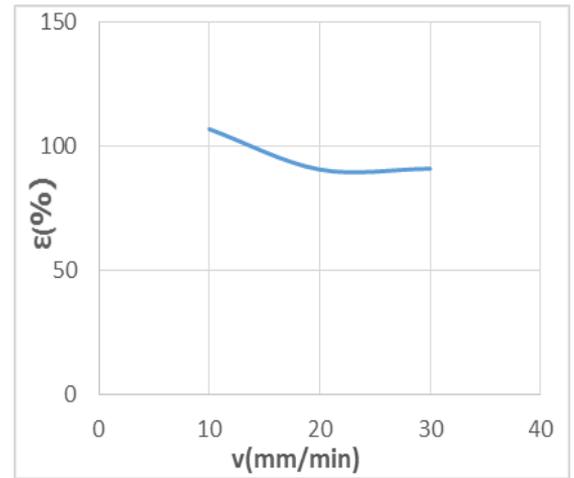


Figure I-43. Évolution de taux de la déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

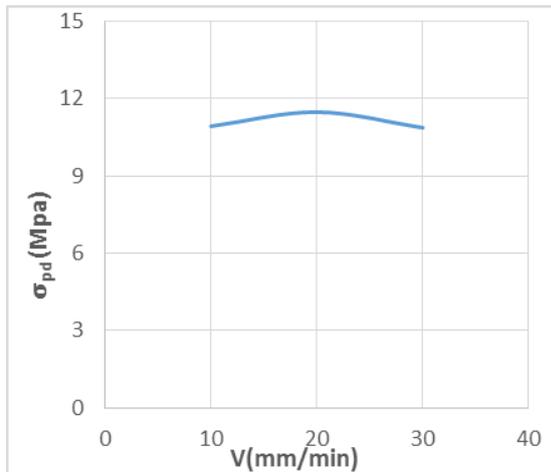


Figure I-44. Évolution de la contrainte au début du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

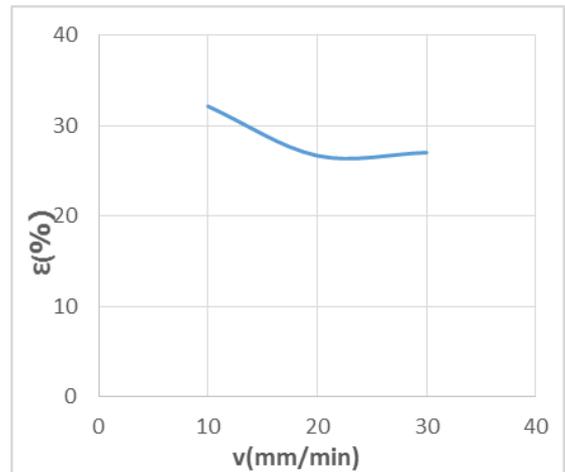


Figure I-45. Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

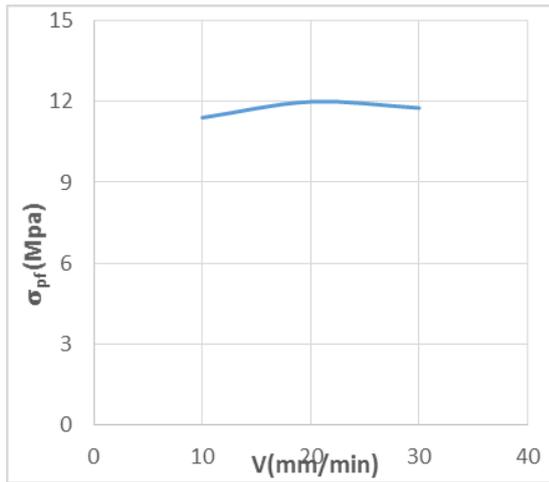


Figure I-46. Évolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

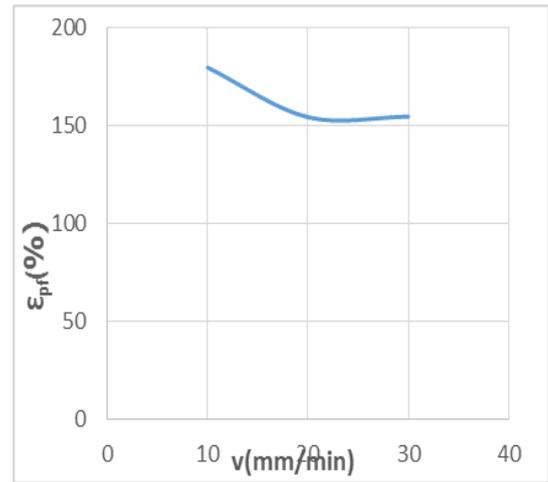


Figure I-47. Évolution de taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

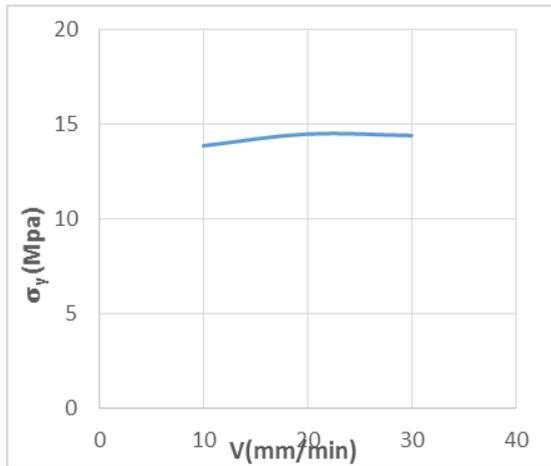


Figure I-48. Évolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

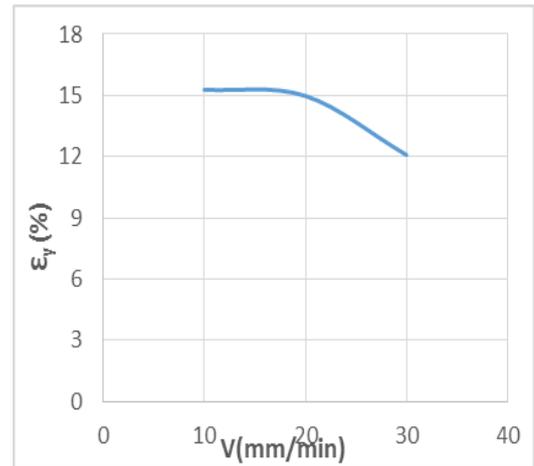


Figure I-49. Évolution de taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

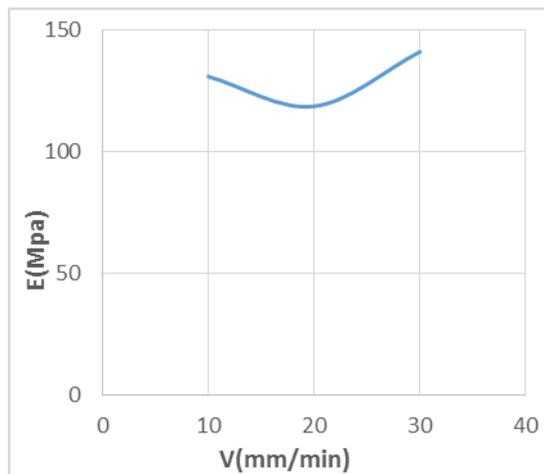


Figure I-50. Évolutions du module de Young E(Mpa) en fonction angle de vitesse de sollicitation V (mm/min) à de découpe constant ($\theta=10^\circ$)

Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=20^\circ$; V_i).

	Propriétés mécaniques caractéristiques								
Vitesses de sollicitation	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
V=10 mm/min	12.34	15.37	94.6	8.68	10.27	9.03	40.15	364.64	202.39
V=20 mm/min	13.38	13.04	136.26	10.02	11.35	9.99	39.17	356.17	197.67
V=30 mm/min	12.75	11.87	112.91	9.96	11.81	10.92	25.83	356.5	191.16

Tableau I.5 Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de la vitesse de sollicitation {V}

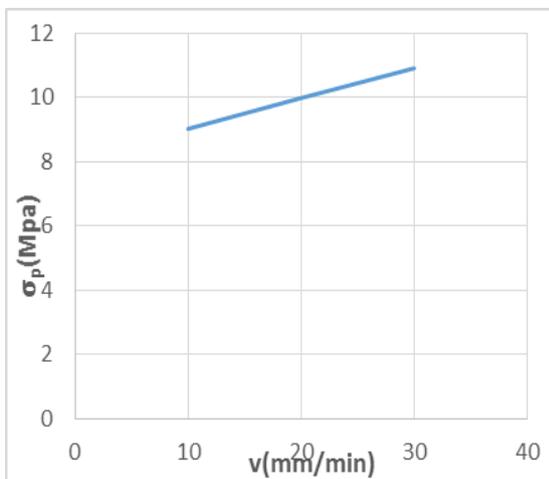


Figure I-51. Évolution de la contrainte au plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

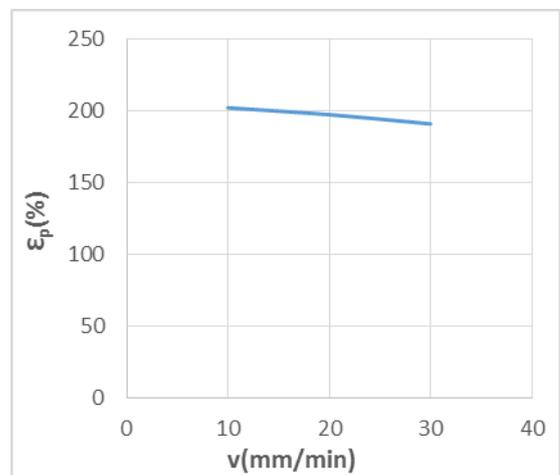


Figure I-52. Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

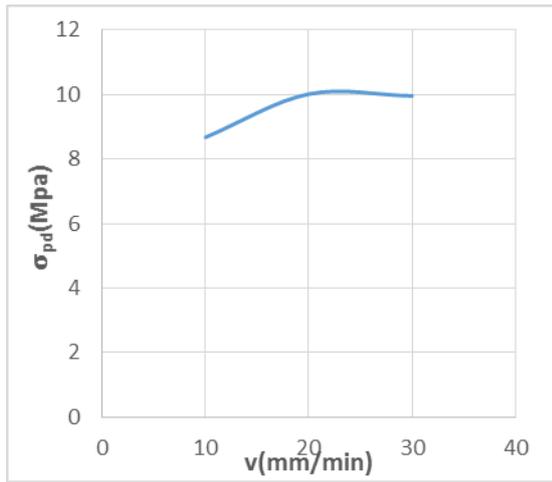


Figure I-53. Évolution de la contrainte au début du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

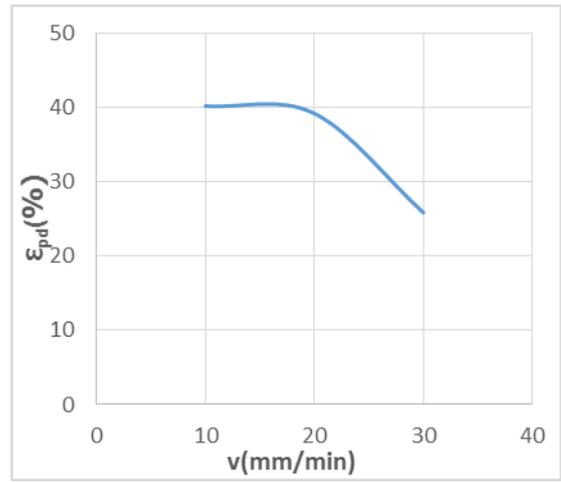


Figure I-54. Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

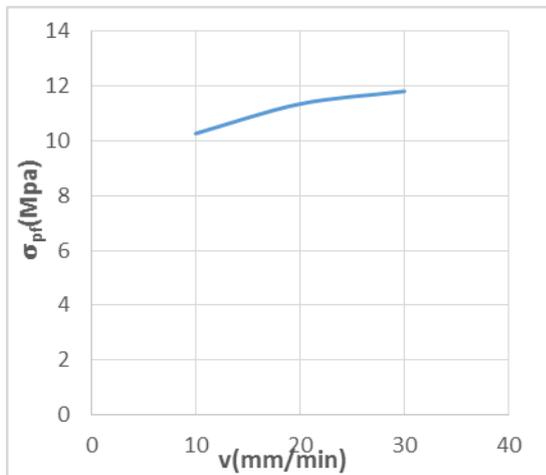


Figure I-55. Évolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

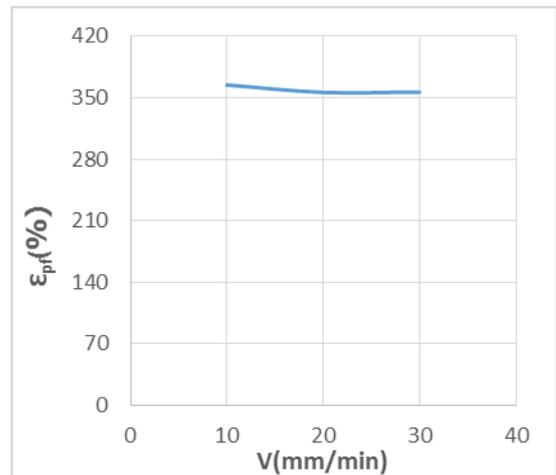


Figure I.56. Évolution de taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

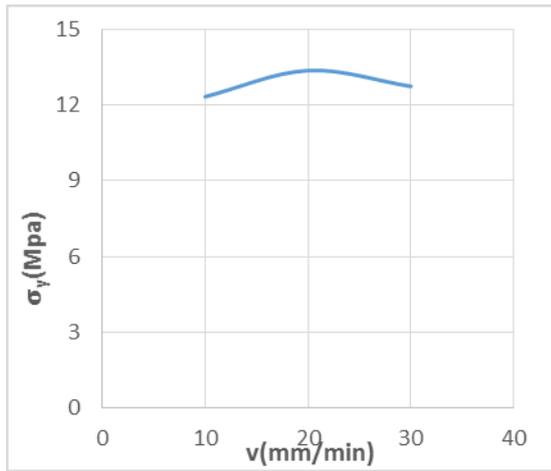


Figure I.57 Évolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

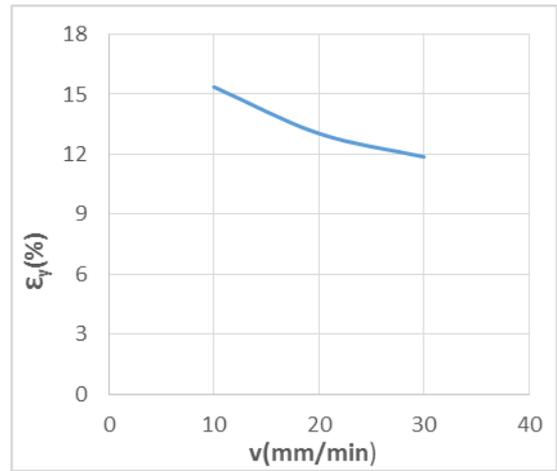


Figure I.58. Évolution de taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

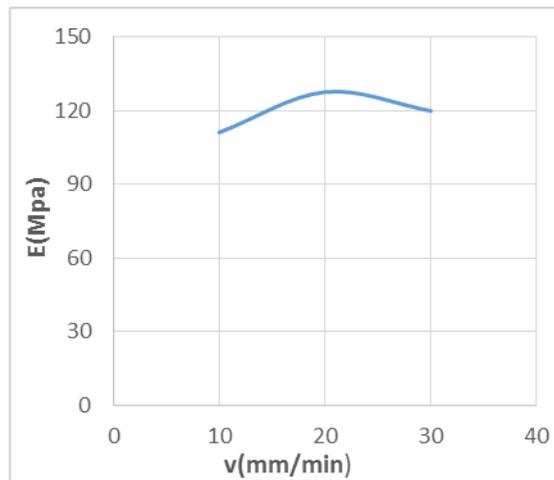


Figure II-59. Évolutions du module de Young E(Mpa) en fonction angle de vitesse de sollicitation V (mm/min) à de découpe constant ($\theta=20^\circ$)

Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=35^\circ$; Vi).

Vitesses de sollicitation	Propriétés mécaniques caractéristiques								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
V=10mm/min	14.61	16.26	128.47	11.46	12.11	11.76	38.71	175.31	107.01
V=20mm/min	15.29	14.40	132.76	11.35	12.91	12.70	33.96	169.87	101.91
V=30mm/min	14.30	13.5	126.64	10.81	12.03	11.46	34.98	150.53	92.75

Tableau I-6. Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de la vitesse de sollicitation {V}

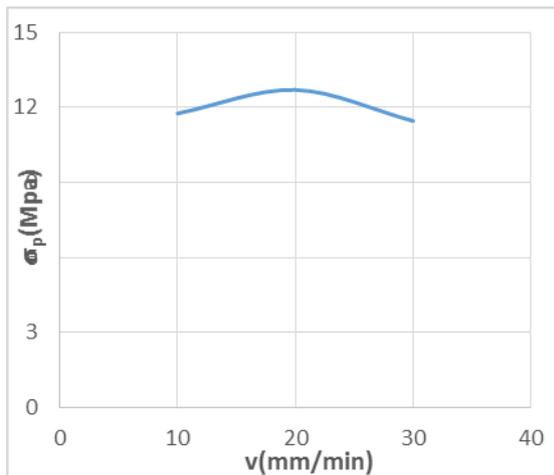


Figure I-60. Évolution de la contrainte au plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

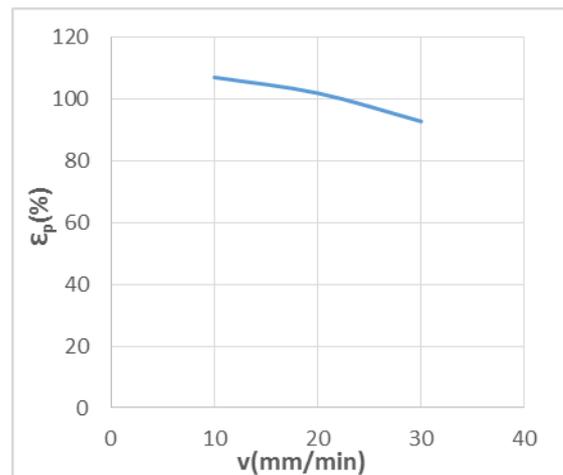


Figure I-61. Évolution de taux de la déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

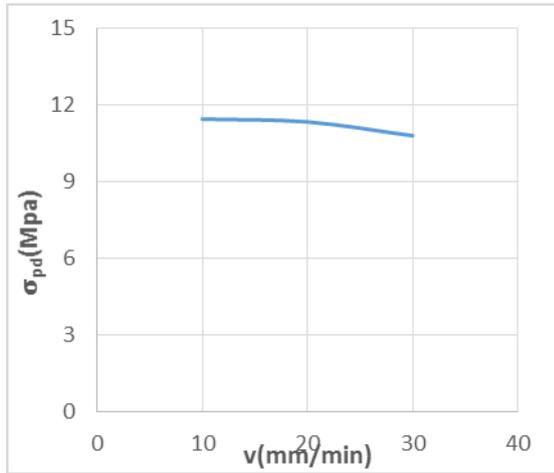


Figure I.62. Évolution de la contrainte au début du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=0^\circ$)

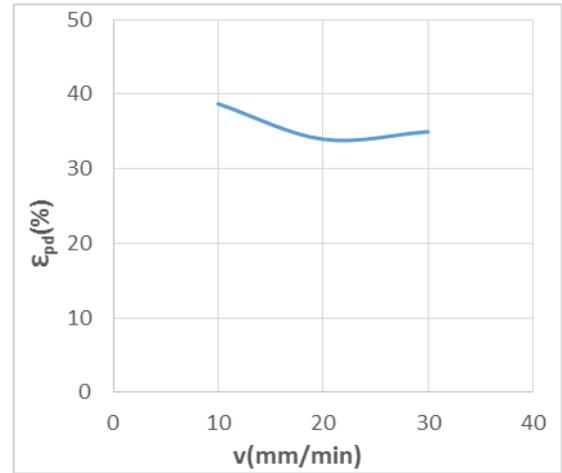


Figure I-63. Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

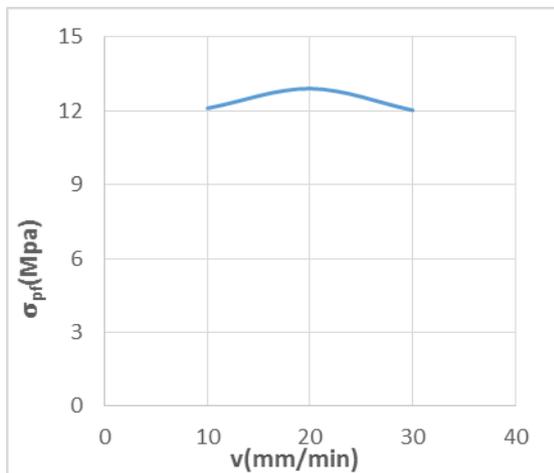


Figure I.64. Évolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

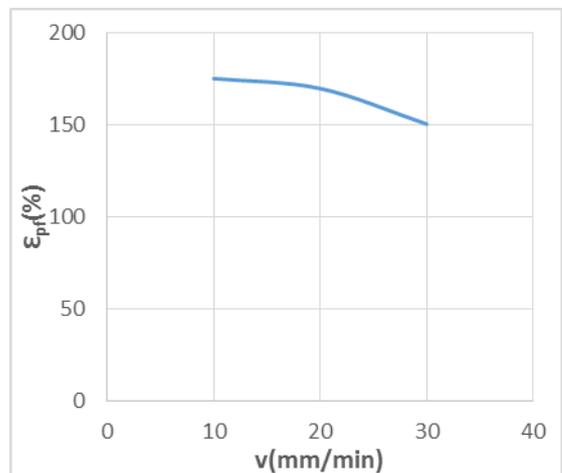


Figure I-65. Évolution de taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

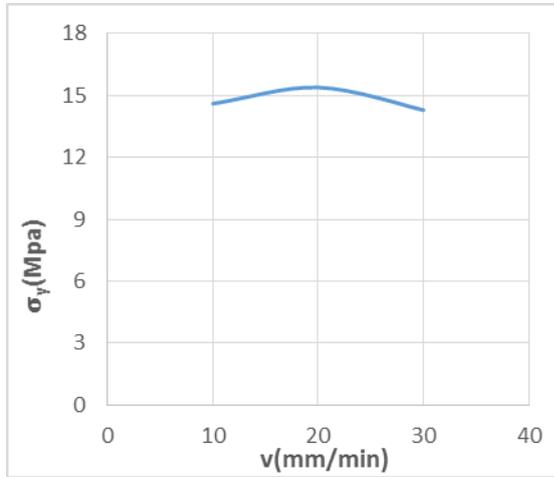


Figure I.66.Évolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

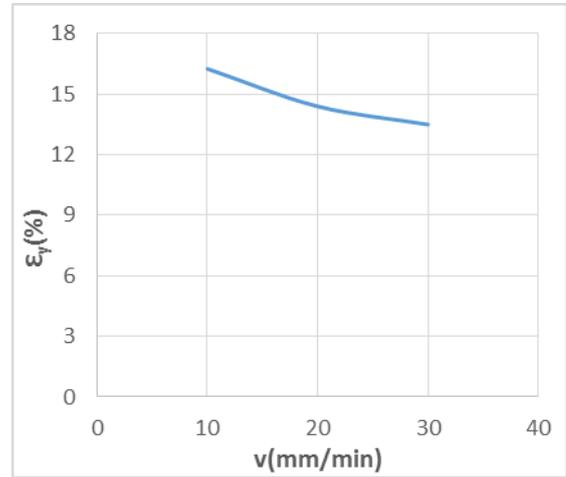


Figure I.67. Évolution de taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

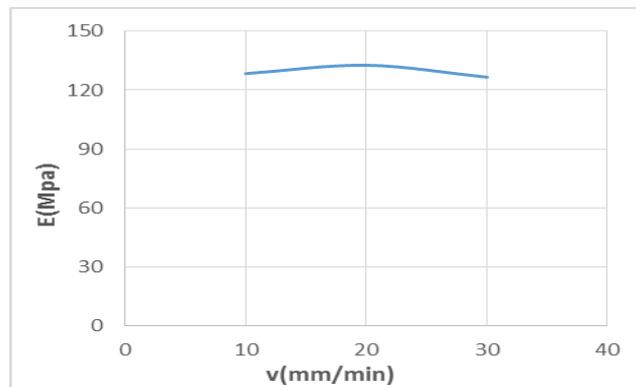


Figure I-68. Évolutions du module de Young E (Mpa) en fonction angle de vitesse de sollicitation V (mm/min) à de découpe constant ($\theta=35^\circ$)

Conclusion : L'analyse l'évolution de la contrainte au seuil d'écoulement et du taux de déformation correspondant en fonction de la vitesse de sollicitation selon le protocole paramétrique ($\theta=35^\circ ; V_i$) présentent un comportement pseudo-linéaire.

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

Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=45^\circ$; Vi).

Vitesses de sollicitations	Propriétés mécaniques caractéristiques								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
V=10mm/min	15.01	16.58	106.98	12.27	13.69	12.83	73.44	153.02	113.23
V=20mm/min	14.74	14.14	119.82	11.95	12.95	12.67	33.8	130.91	82.35
V=30mm/min	14.99	13.62	125.04	11.791	12.35	12.61	48.71	139.98	94.35

Tableau I.7. Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de la vitesse de sollicitation {V}

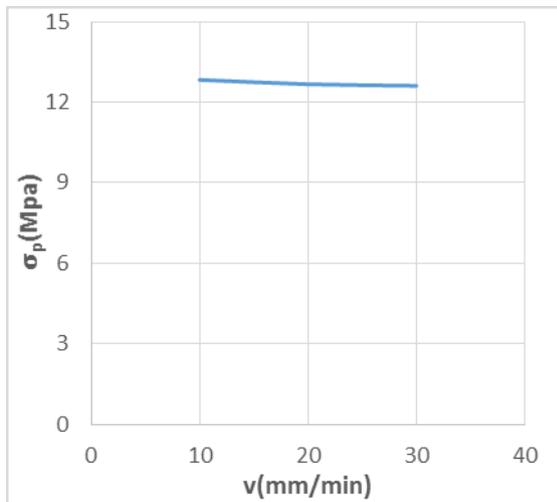


Figure I.69. Évolution de la contrainte au plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

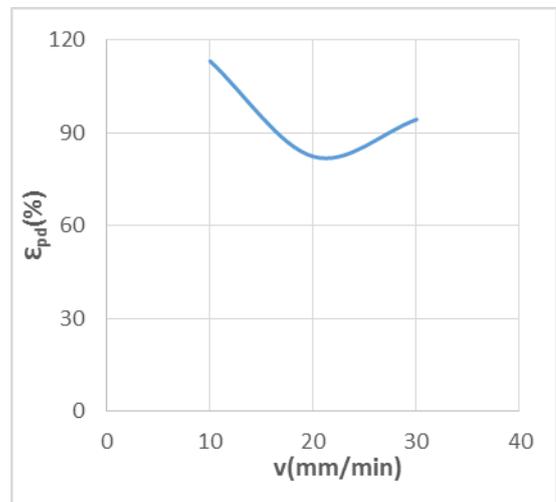


Figure I.70. Évolution de taux de la déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

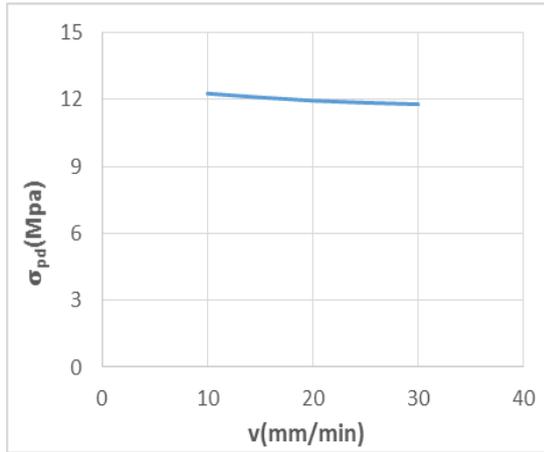


Figure I.80 Évolution de la contrainte au début du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

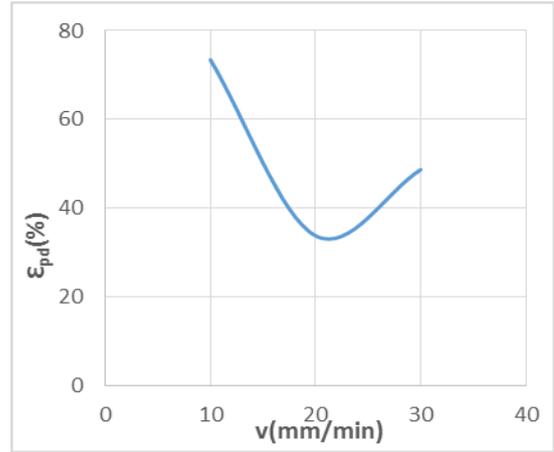


Figure I.81. Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

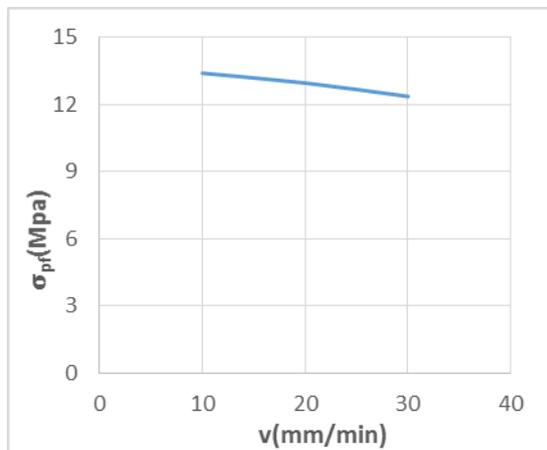


Figure I.82 Évolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

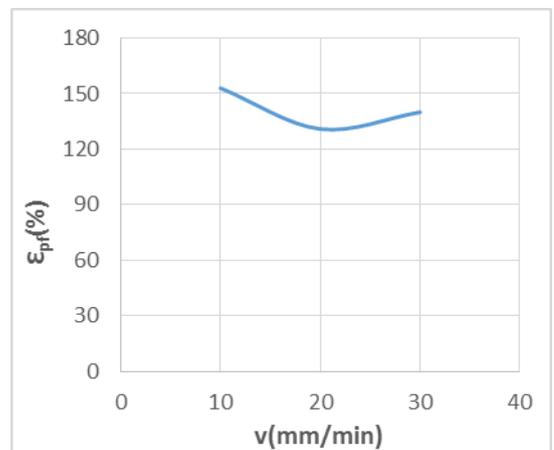


Figure I.83. Évolution de taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

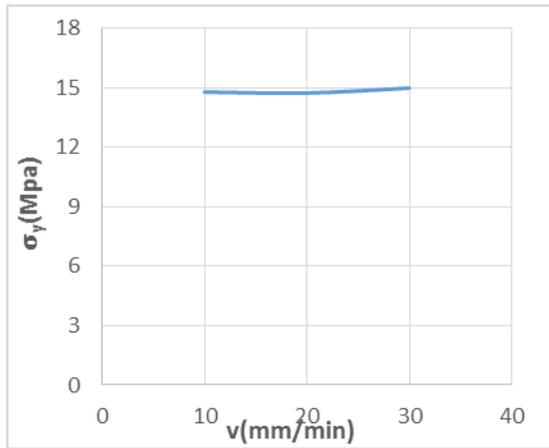


Figure I.84. Évolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=45^\circ$)

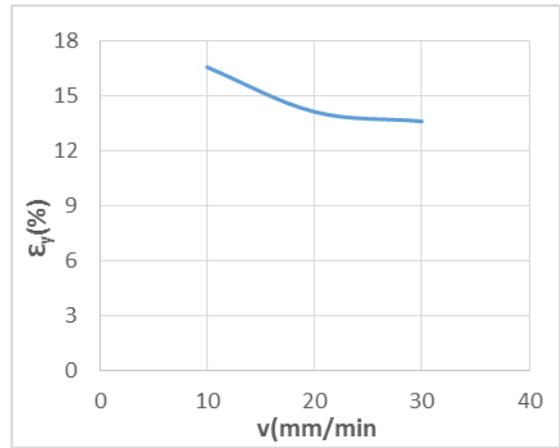
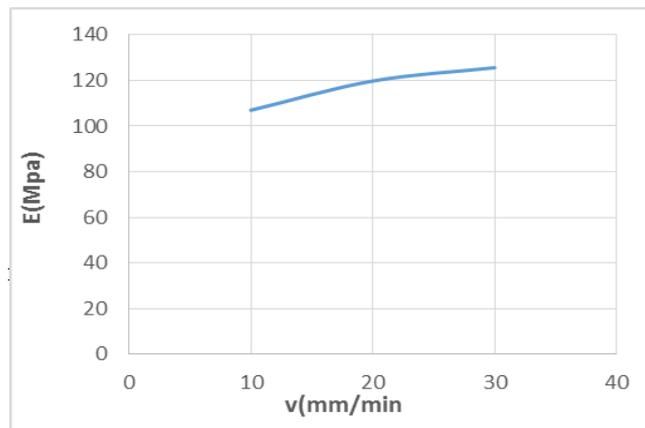


Figure I.85. Évolution de taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)



Conclusion : L'analyse l'évolution de la contrainte au seuil d'écoulement et du taux de déformation correspondant en fonction de la vitesse de sollicitation selon le protocole paramétrique ($\theta=45^\circ$; V_i) présentent un comportement pseudo-linéaire.

Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=90^\circ$; V_i).

Vitesses des sollicitations	Propriétés mécaniques caractéristiques								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
V=10mm/min	15.3	12.14	101.64	12.18	13.8	12.35	21.37	123.03	72.2
V=20mm/min	19.66	8.2	122.77	16.48	17.55	17.76	28.94	136.83	82.88
V=30mm/min	21.65	2.96	135.15	18.9	19.72	19.82	21.23	139.99	80.61

Tableau I.8. Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de la vitesse de sollicitation {V}

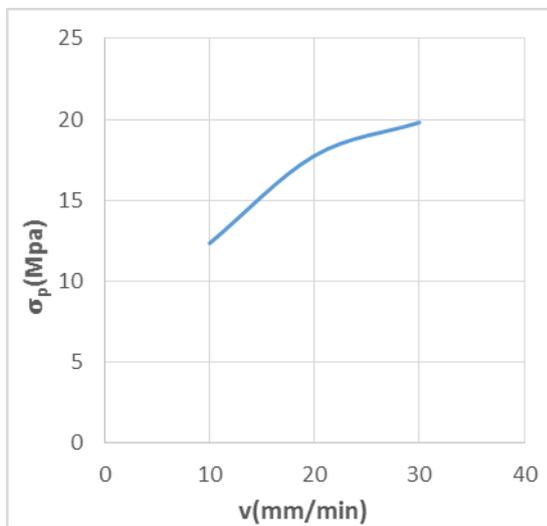


Figure I.87 : Évolution de la contrainte au plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

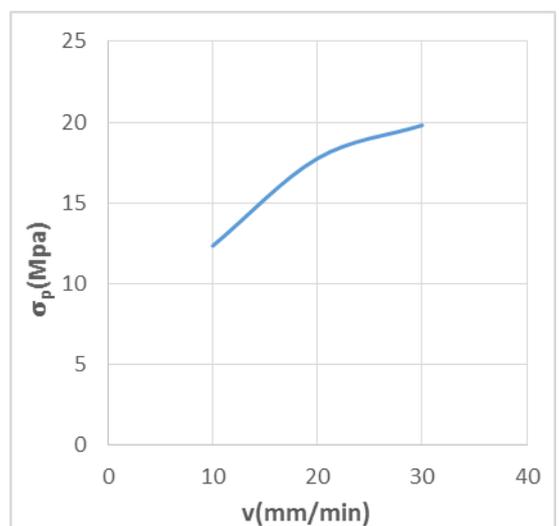


Figure I.88. Évolution de taux de la déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

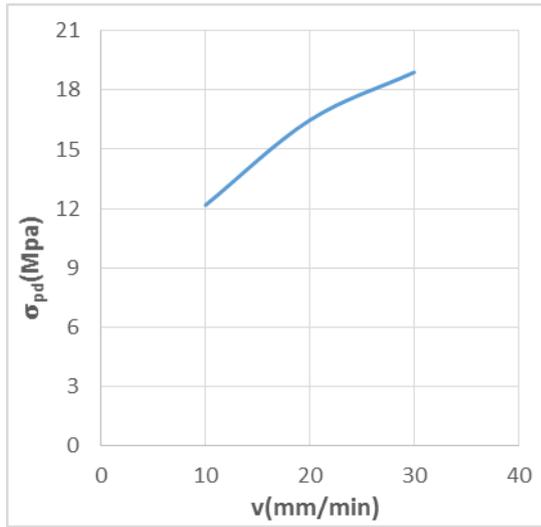


Figure I.89. Évolution de la contrainte au début du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

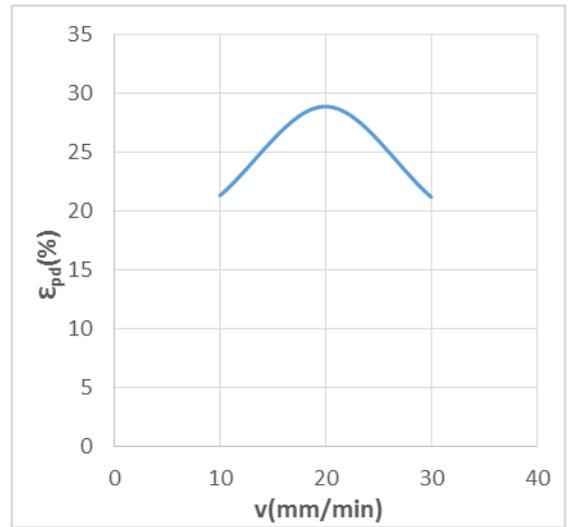


Figure I.90. Évolution de taux de la déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

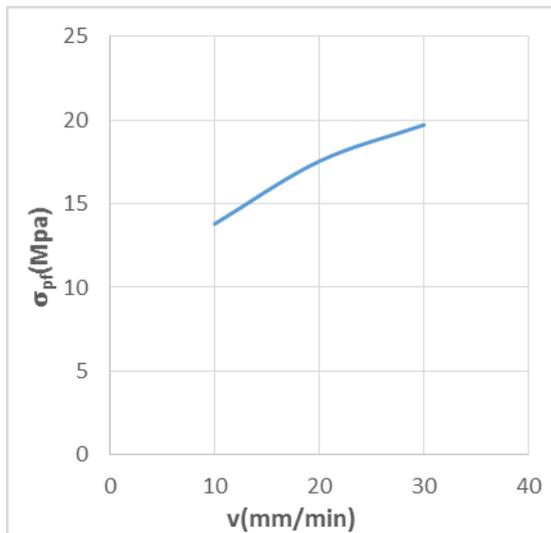


Figure I.91. Évolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

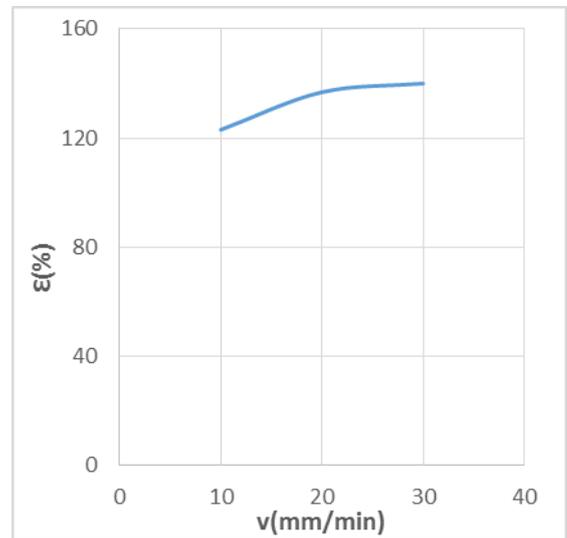


Figure I.92. Évolution de taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

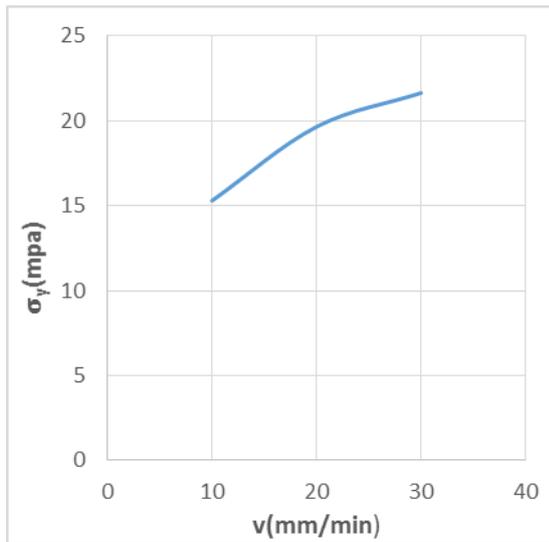


Figure I.93. Évolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à un angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

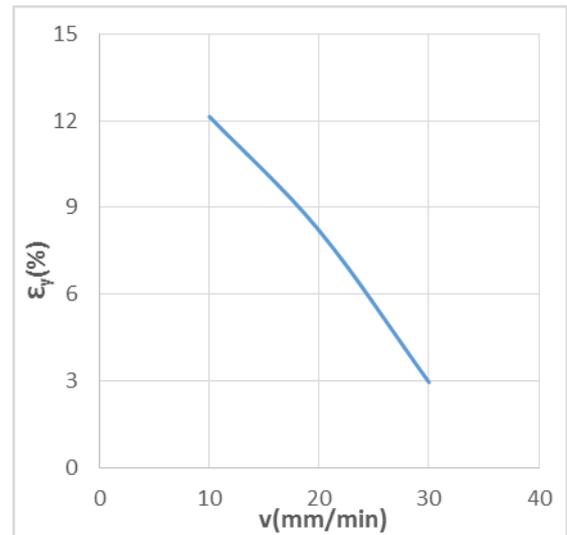


Figure I.94. Évolution de taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de la vitesse de sollicitation V (mm/min) à angle de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

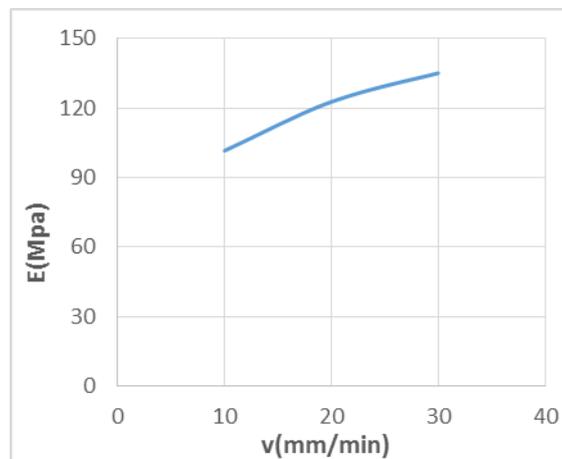


Figure I.95. Évolutions du module de Young E (Mpa) en fonction angle de vitesse de sollicitation V (mm/min) à de découpe constant ($\theta=90^\circ$)

Conclusion : L'analyse l'évolution de la contrainte au seuil d'écoulement et du taux de déformation correspondant en fonction de la vitesse de sollicitation selon le protocole paramétrique ($\theta=90^\circ$; V_i) présentent un comportement pseudo-linéaire.

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

Dans les figures qui vont suivre nous avons fait une superposition des courbes de caractérisation pour chaque angle de découpe. Afin d'observer le comportement mécanique de chaque éprouvette de la géomembrane PEHD et ceci est pour chaque paramètre.

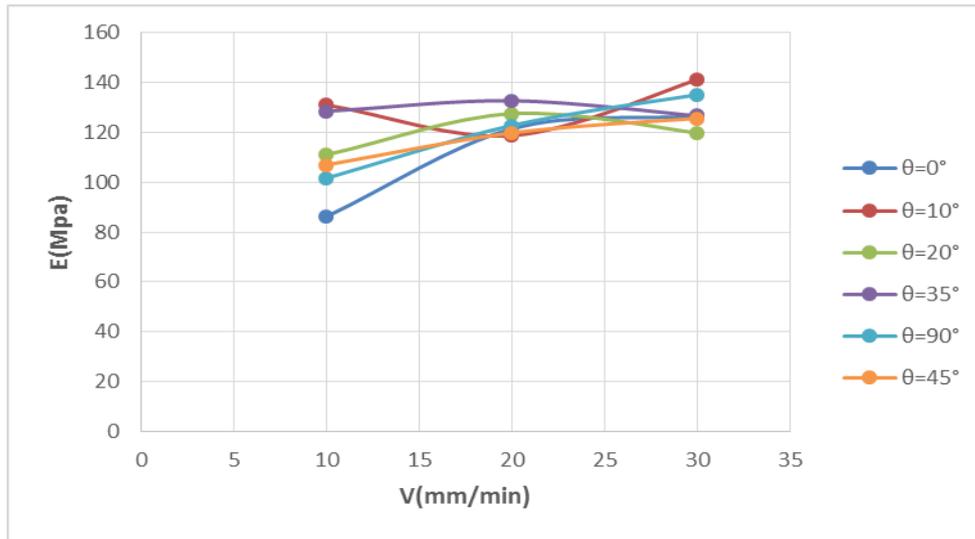


Figure I.96. Evolution du module de Young en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD.

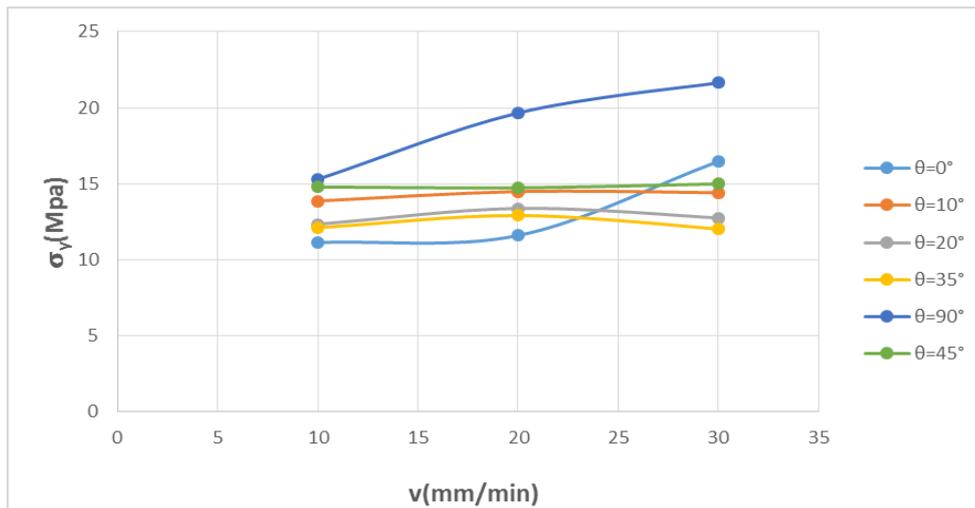


Figure I.97. Evolution des contraintes au seuil d'écoulement en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD.

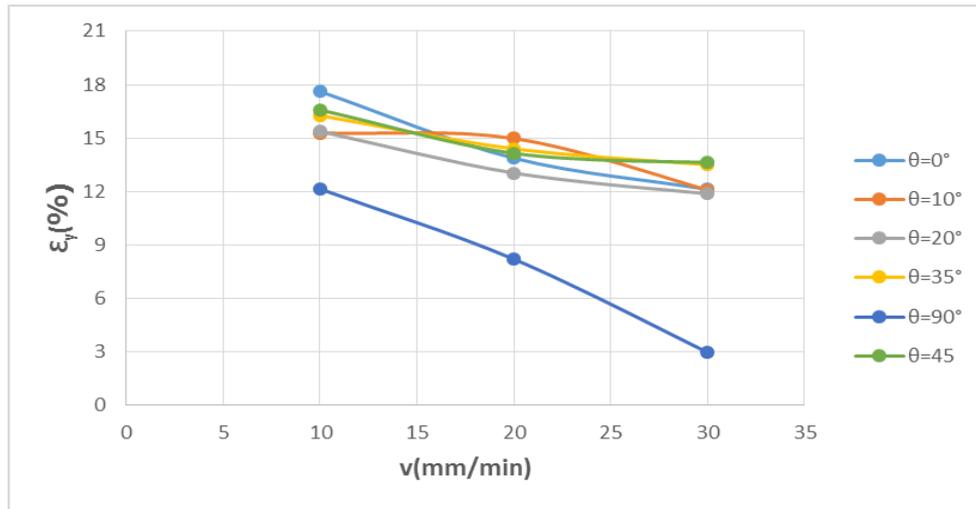


Figure I.98. Evolution du taux de déformation associé au seuil d'écoulement en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD.

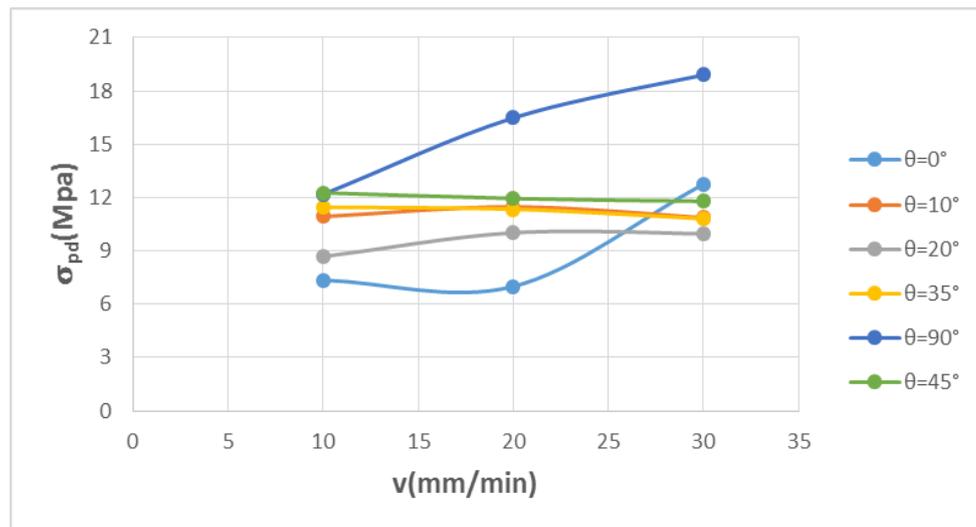


Figure I.99. Evolution de la contrainte au début du plateau de plasticité en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD.

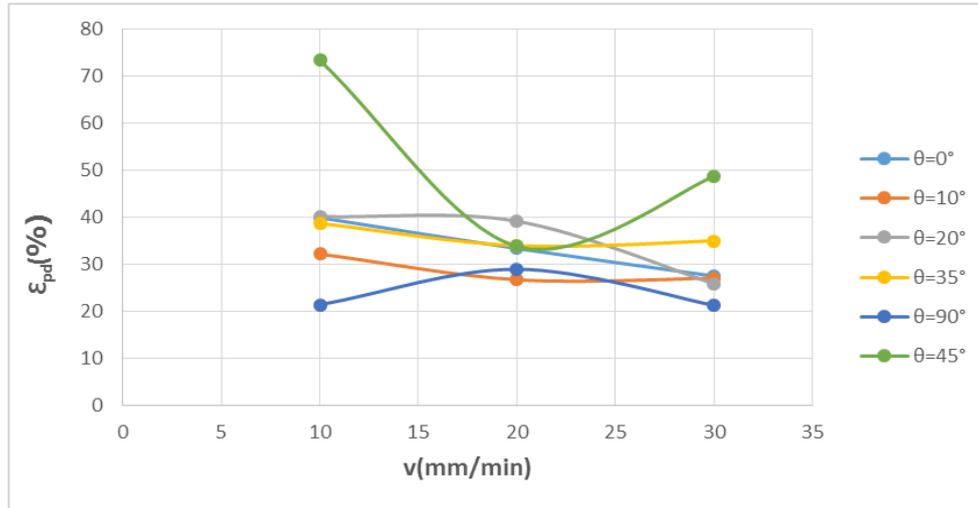


Figure I.100. Evolution du taux de déformation au début du plateau la plasticité en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD.

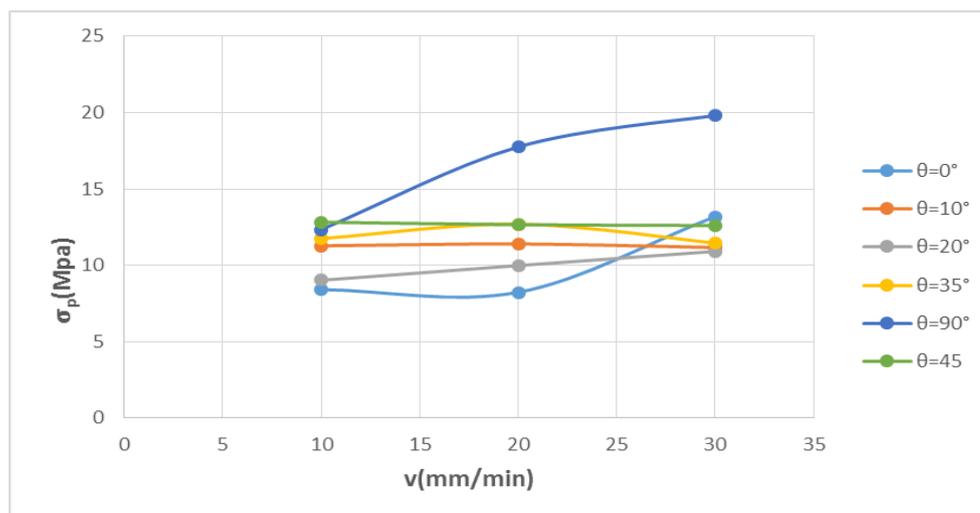


Figure I.101. Evolution de la contrainte au plateau de plasticité en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpes des eprouvettes de la geomembrane PEHD

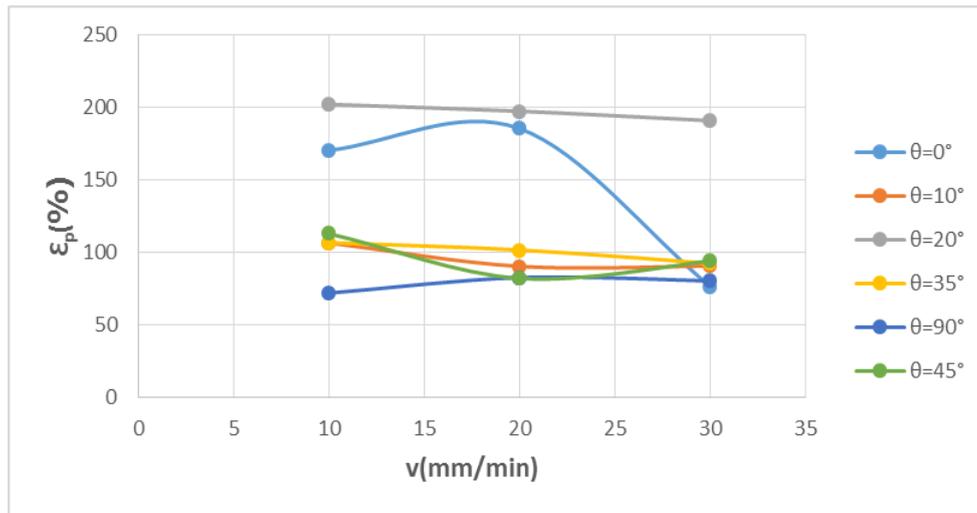


Figure I.102. Évolution du taux de déformation au plateau de plasticité en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD.

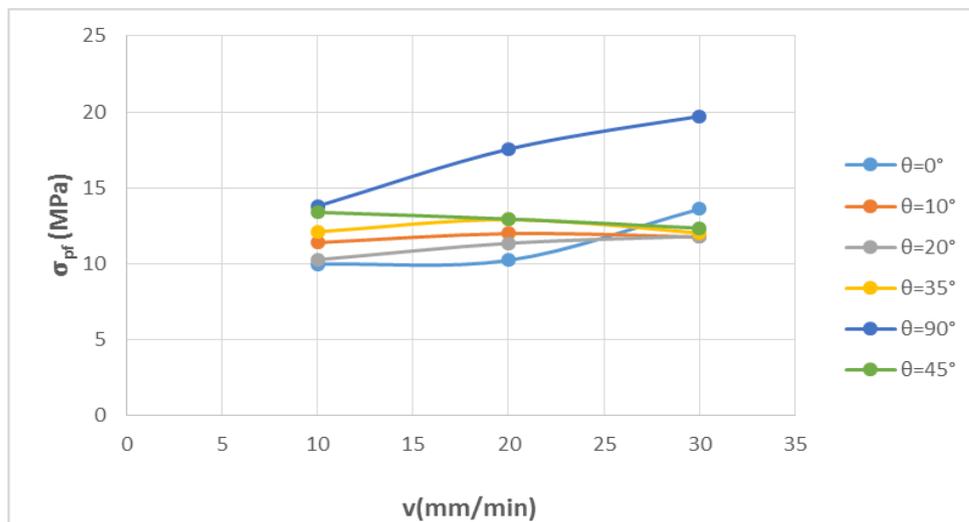


Figure I.103. Évolution des contraintes à la fin du plateau de plasticité en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD.

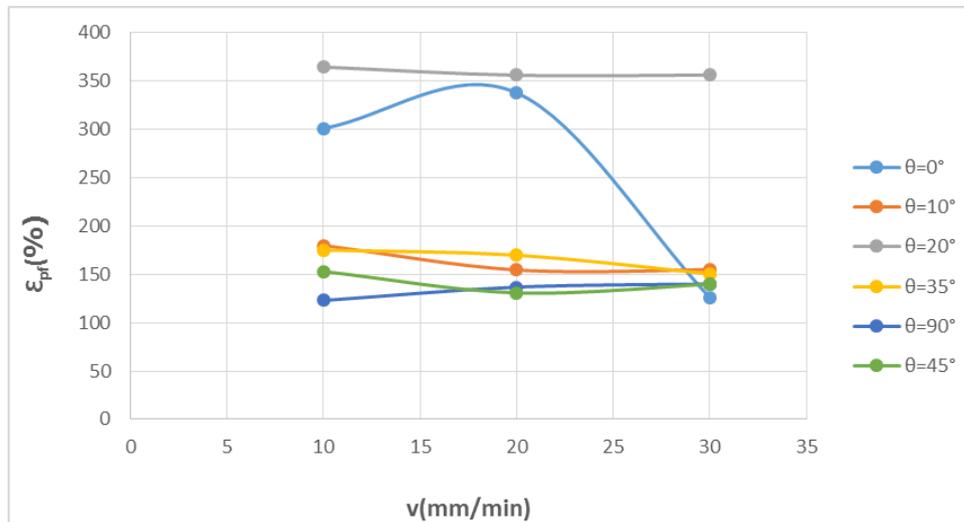


Figure I.104. Évolution des taux de déformation à la fin du plateau de plasticité en fonction de la vitesse de sollicitation et à différents angles de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD

Conclusion : L'analyse de l'évolution des modules de Young, des contraintes aux seuils d'écoulement, des contraintes aux plateaux de plasticité et des taux de déformation correspondant en fonction de la vitesse de sollicitation selon le protocole paramétrique (θ_i ; V_i) **présentent un comportement pseudo-linéaire et non linéaire.**

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

I-5. Propriétés mécaniques Caractéristiques, des géomembranes PEHD, obtenues selon le protocole paramétrique (θ_i ; V_i) :

On s'intéresse, ici, à l'évolution des propriétés mécaniques caractéristiques, des géomembranes PEHD, selon le protocole paramétrique (θ_i ; V_i). Contrairement à la partie précédente, on étudie l'influence de l'angle de découpe à vitesse de sollicitation constante.

I-5-1. Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=i$; $V=10$ mm/mn).

Angles de coupe	Propriétés mécanique caractéristique								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
$\Theta = 0^\circ$	11.14	17.61	86.24	7.36	7.36	8.42	39.93	301.4	170.16
$\Theta = 10^\circ$	13.87	15.28	118.73	10.93	11.40	11.28	32.18	180	106.9
$\Theta = 20^\circ$	12.34	15.37	94.6	8.68	10.27	9.03	40.15	364.64	202.39
$\Theta = 35^\circ$	14.61	16.26	128.47	11.46	12.11	11.76	38.71	175.31	107.01
$\Theta = 45^\circ$	15.01	16.58	106.98	12.27	13.69	12.83	73.44	153.02	113.23
$\Theta = 90^\circ$	15.3	12.14	101.64	12.18	13.8	12.35	21.37	123.03	72.2

Tableau II-7 : Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de l'angle de découpe $\Theta(^{\circ})$

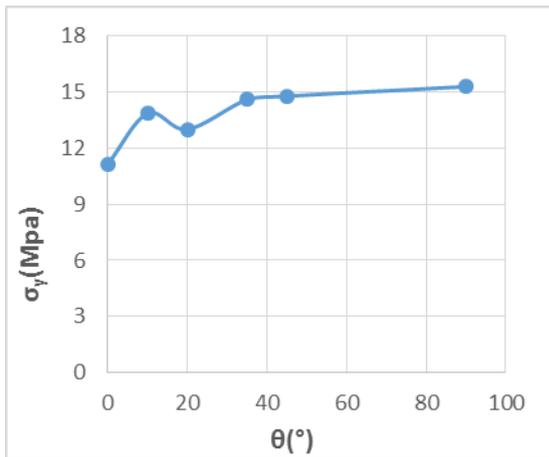


Figure I-97 : Evolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

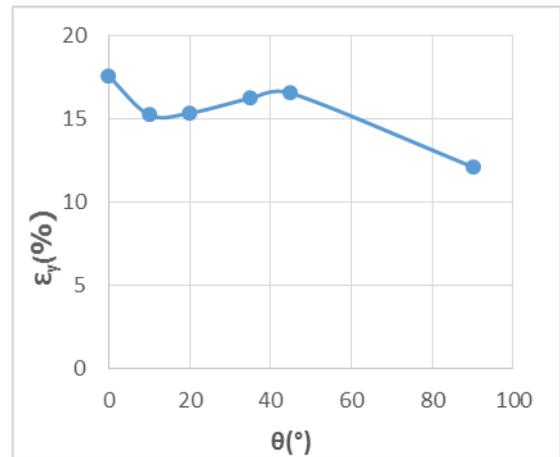


Figure I-98 : Evolution du taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

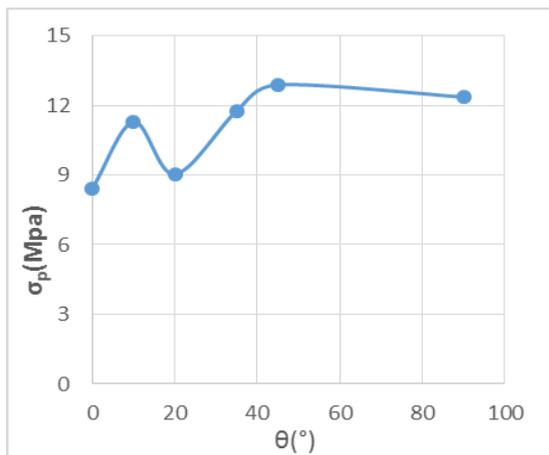


Figure I-99 : Evolution de la contrainte au plateau de plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

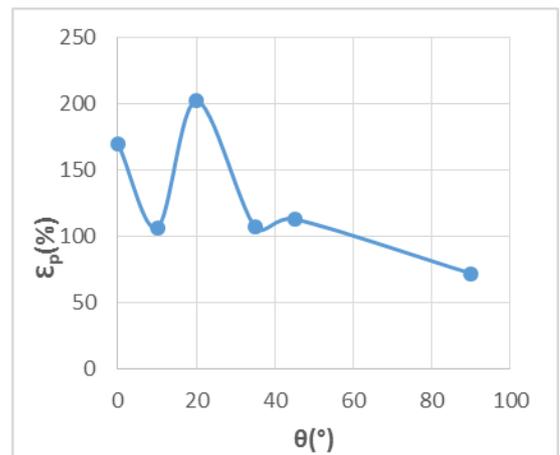


Figure I-100 : Evolution du taux de déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

Conclusion :

L'analyse l'évolution des modules de Young, des contraintes aux seuils d'écoulement, des contraintes aux plateaux de plasticité et des taux de déformation correspondant en fonction de l'angle de découpe selon le protocole paramétrique (θ_i ; $V=10$ mm/mn) **présentent un comportement non linéaire.**

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

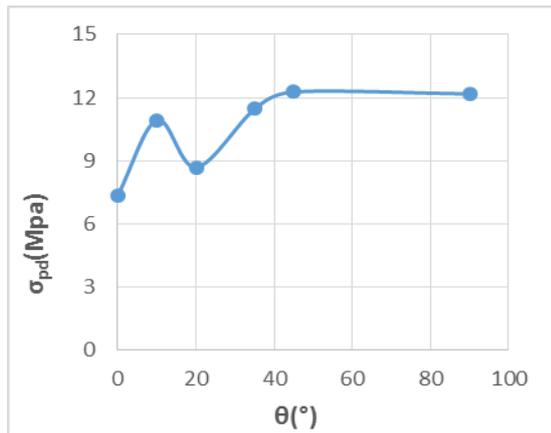


Figure I-101 : Evolution de la contrainte au début du plateau de plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de l'angle de découpe $\theta(^{\circ})$ à la vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

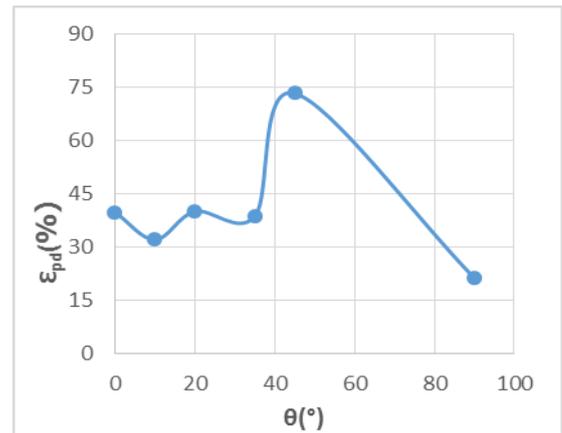


Figure I-102 : Evolution du taux de déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

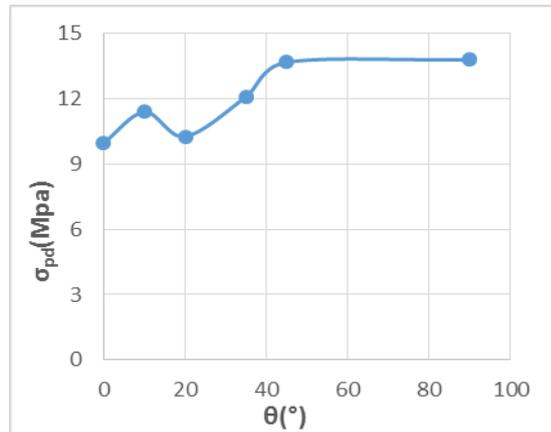


Figure I-102: Evolution de la contrainte à la fin du plateau de plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de l'angle de découpe $\theta(^{\circ})$ à la vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

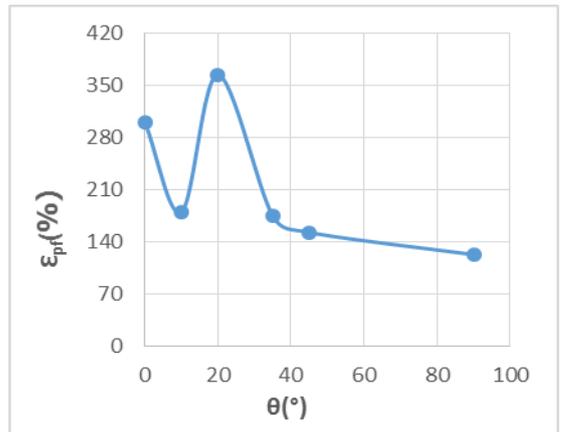


Figure I-103: Evolution du taux de déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

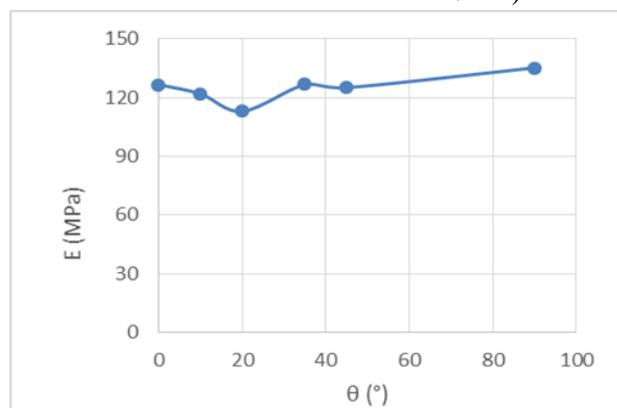


Figure I-104 Évolutions du module de Young $E(MPa)$ en fonction de l'angle de découpe $\theta(^{\circ})$ à vitesse de sollicitation constante ($V=10$ mm/min)

I-5-2. Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=i$; $V=30$ mm/mn) :

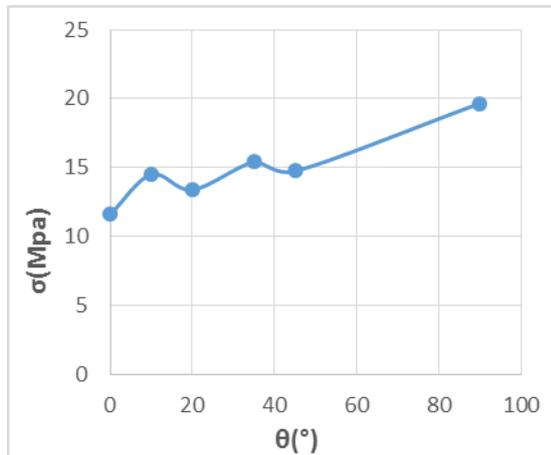


Figure I-105 Evolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

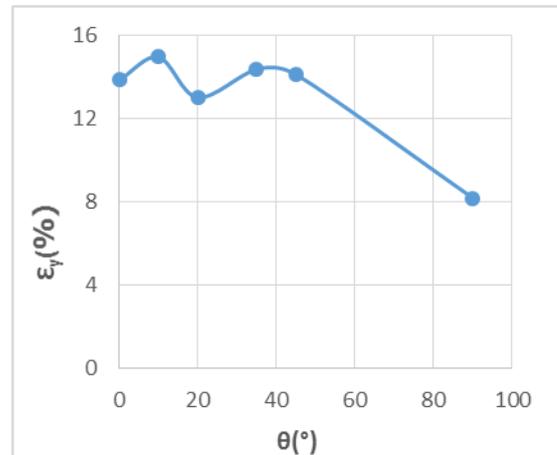


Figure I-106 Evolution du taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

Angles de coupe	Propriétés mécanique caractéristique								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
$\Theta = 0^\circ$	11.59	13.87	121.42	7.00	10.23	8.24	33.35	338	185.67
$\Theta = 10^\circ$	14.49	14.98	122.16	11.48	11.99	11.40	26.70	154.6	90.6
$\Theta = 20^\circ$	13.38	13.04	136.26	10.02	11.35	9.99	39.17	356.17	197.67
$\Theta = 35^\circ$	15.29	14.40	132.76	11.35	12.91	12.70	33.96	169.87	101.91
$\Theta = 45^\circ$	14.74	14.14	119.82	11.95	12.95	12.67	33.8	130.91	82.35
$\Theta = 90^\circ$	19.66	8.2	122.77	16.48	17.55	17.76	28.94	136.83	82.88

Tableau II-8 : Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de l'angle de découpe Θ (°)

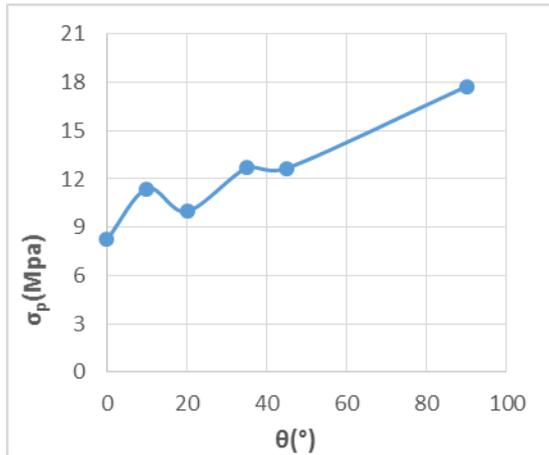


Figure I-107 : Evolution de la contrainte au plateau de plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

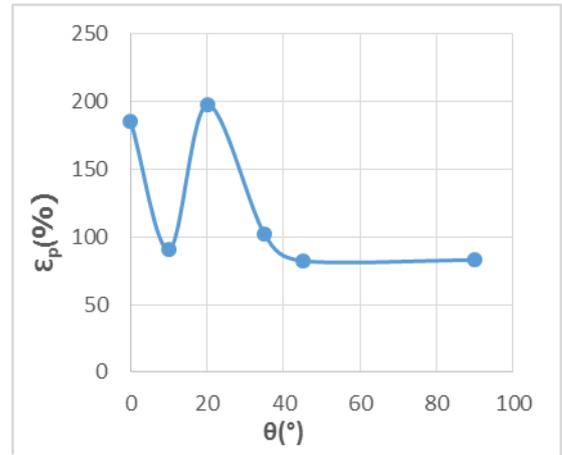


Figure I-108 : Evolution du taux de déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à une vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

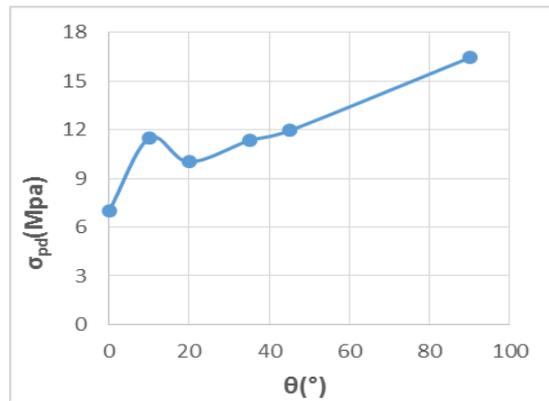


Figure I-109. Evolution de la contrainte au début du plateau de plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

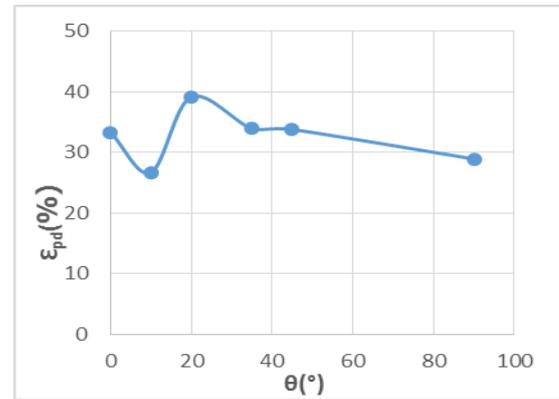


Figure II-110. Evolution du taux de déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à une vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

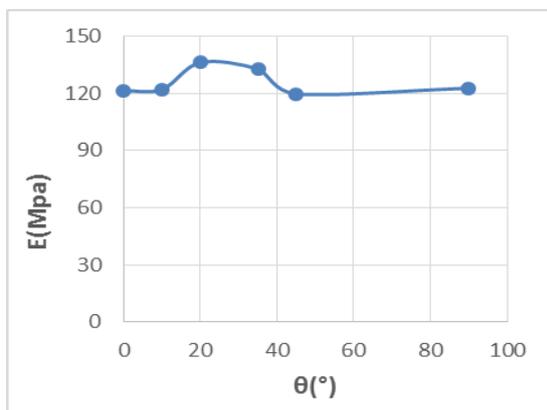


Figure I-111 : Évolutions du module de Young E(Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

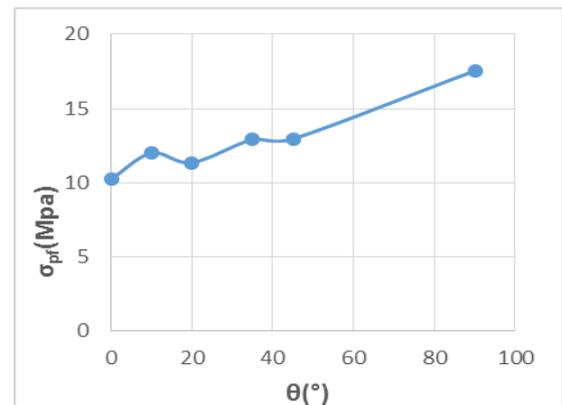


Figure I-112 : Evolution de la contrainte à la fin du plateau de plateau de plasticité σ_{pf} (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

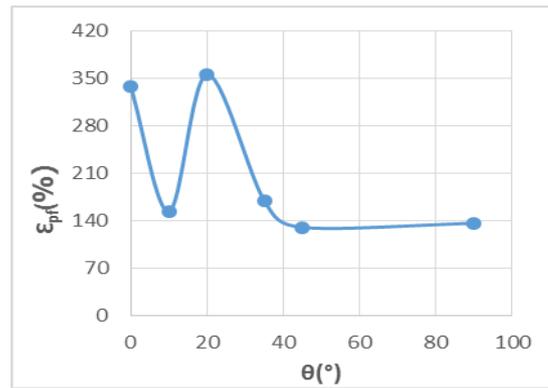


Figure I-113 : Evolution du taux de déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=20$ mm/min)

I-5-3. Propriétés mécaniques Caractéristiques selon le protocole paramétrique ($\theta=i$; $V=30$ mm/mn) :

Conclusion :

L'analyse l'évolution des modules de Young, des contraintes aux seuils d'écoulement, des contraintes aux plateaux de plasticité et des taux de déformation correspondant en fonction de l'angle de découpe selon le protocole paramétrique (θ_i ; $V=20$ mm/mn) **présentent un comportement non linéaire.**

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

Angles de coupe	Propriétés mécanique caractéristique								
	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	σ_{pd} (Mpa)	σ_{pf} (Mpa)	σ_p (Mpa)	ϵ_{pd} (%)	ϵ_{pf} (%)	ϵ_p (%)
$\Theta = 0^\circ$	16.47	12.12	126.59	12.76	13.60	13.20	27.49	125.99	76.75
$\Theta = 10^\circ$	14.41	12.08	121.8	10.87	11.76	11.17	27.04	154.92	90.98
$\Theta = 20^\circ$	12.75	11.87	112.91	9.96	11.81	10.92	25.83	356.5	191.16
$\Theta = 35^\circ$	14.30	13.5	126.64	10.81	12.03	11.46	34.98	150.53	92.75
$\Theta = 45^\circ$	14.99	13.62	125.04	11.791	12.35	12.61	48.71	139.98	94.35
$\Theta = 90^\circ$	21.65	2.96	135.15	18.9	19.72	19.82	21.23	139.99	80.61

Tableau I-9 : Propriétés mécaniques usuelles de la géomembrane en fonction de l'angle de découpe $\Theta(^\circ)$

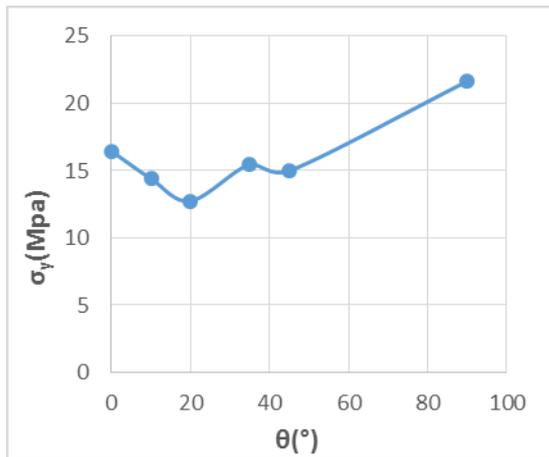


Figure I-114 : Evolution de la contrainte au seuil d'écoulement σ_y (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

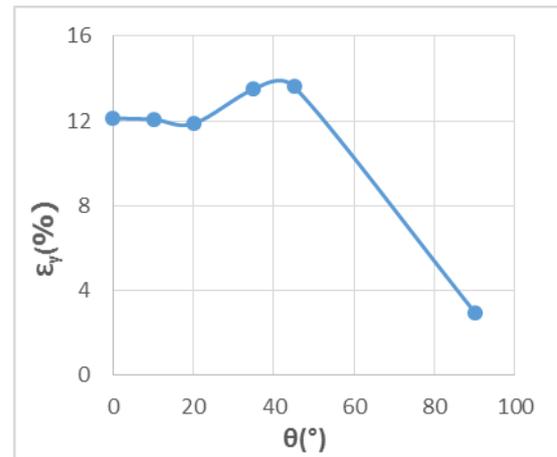


Figure I-115 : Evolution du taux de déformation au seuil d'écoulement ϵ_y (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

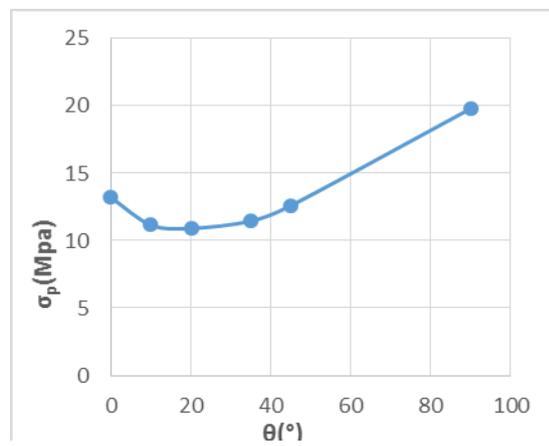


Figure I-116 : Evolution de la contrainte au plateau de plateau de plasticité σ_p (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

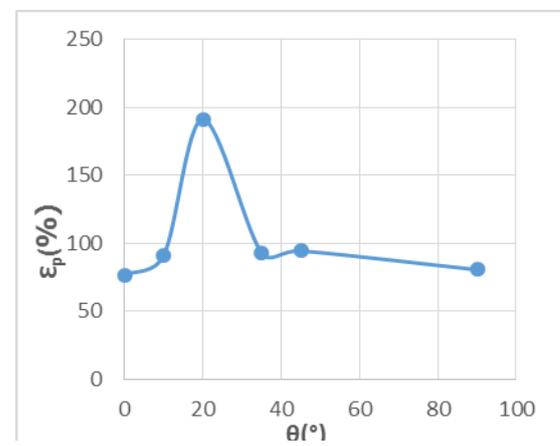


Figure I-117 : Evolution du taux de déformation au plateau de plasticité ϵ_p (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

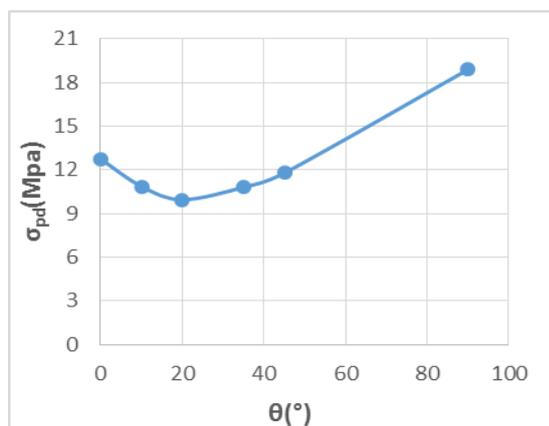


Figure I-118 : Evolution de la contrainte au début du plateau de plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

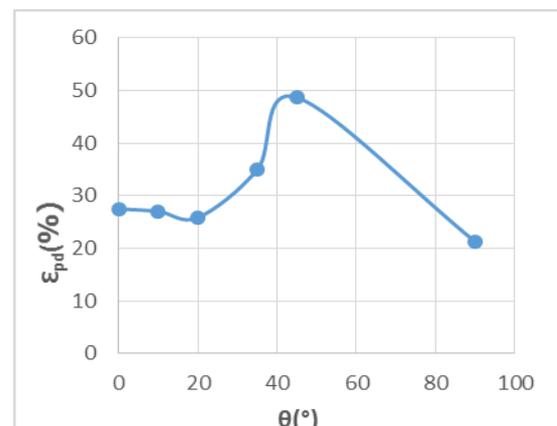


Figure I-119 : Evolution du taux de déformation au début du plateau de plasticité ϵ_{pd} (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

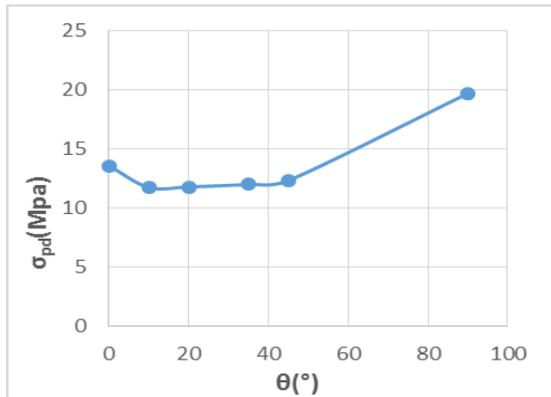


Figure I-120 : Evolution de la contrainte à la fin du plateau de plasticité σ_{pd} (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à la vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

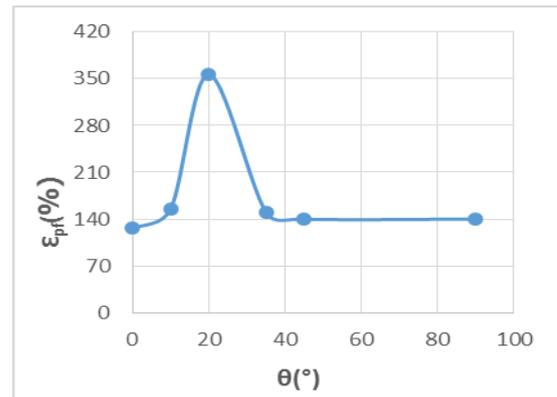


Figure I-121 : Evolution du taux de déformation à la fin du plateau de plasticité ϵ_{pf} (%) en fonction de l'angle de découpe à une vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

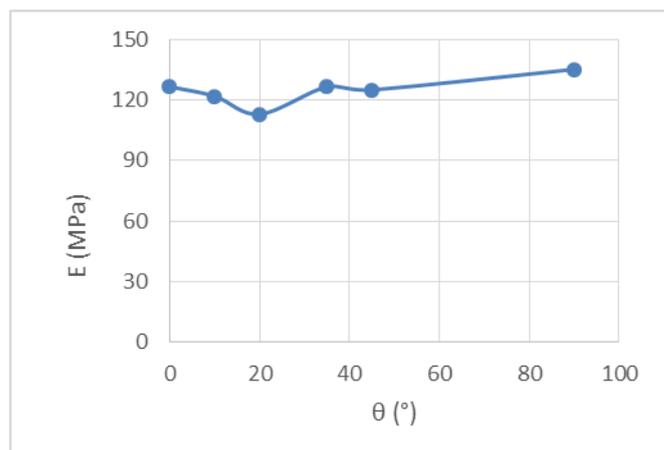


Figure I-122 : Évolutions du module de Young E (Mpa) en fonction de l'angle de découpe θ (°) à vitesse de sollicitation constante ($V=30$ mm/min)

Conclusion :

L'analyse l'évolution des modules de Young, des contraintes aux seuils d'écoulement, des contraintes aux plateaux de plasticité et des taux de déformation correspondant en fonction de l'angle de découpe selon le protocole paramétrique (θ_i ; $V=30$ mm/min) **présentent un comportement non linéaire.**

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

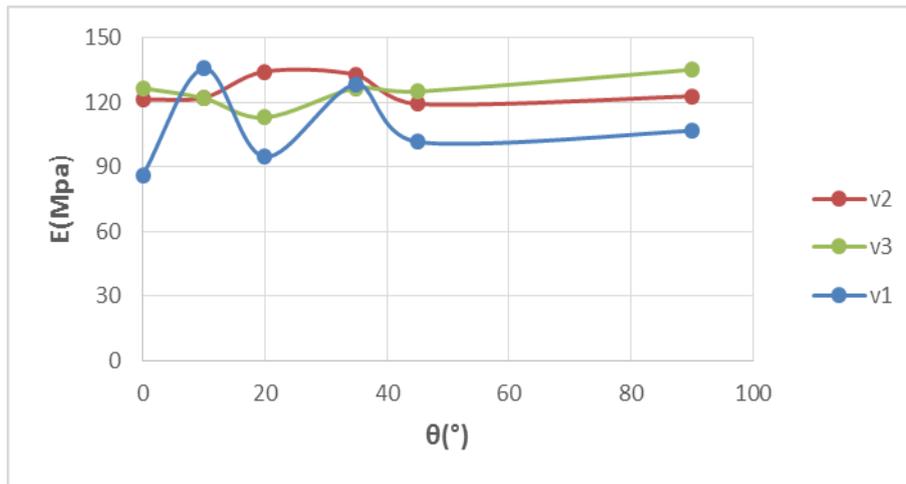


Figure I-123 : Evolution du module de Young en fonction de l'angle de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD à vitesses de sollicitation différentes

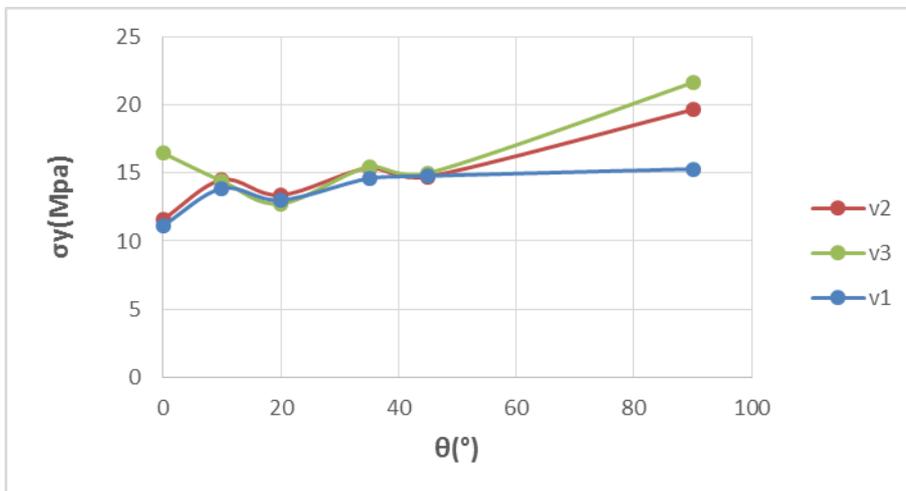


Figure I-124 : Evolution de la contrainte au seuil d'écoulement en fonction de l'angle de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD à des vitesses de sollicitation variées

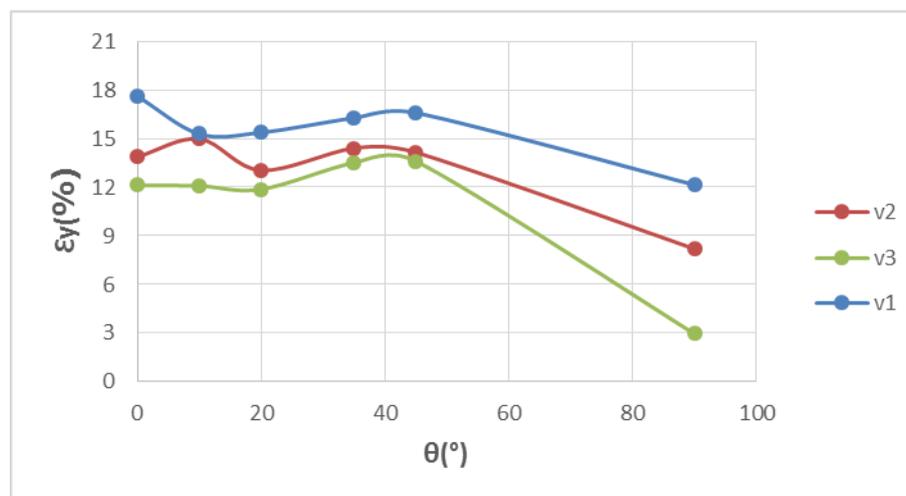


Figure I-125 : Evolution du taux de la déformation associée au seuil d'écoulement en fonction de l'angle de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD à des vitesses de sollicitation variées

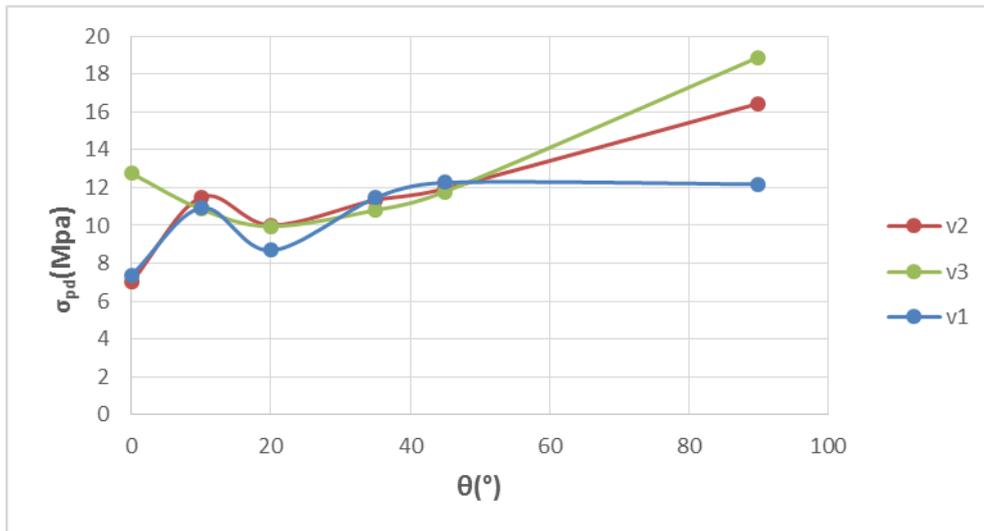


Figure I-126 : Evolution de la contrainte au plateau de plasticité en fonction de l'angle de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD à des vitesses de sollicitation variantes.

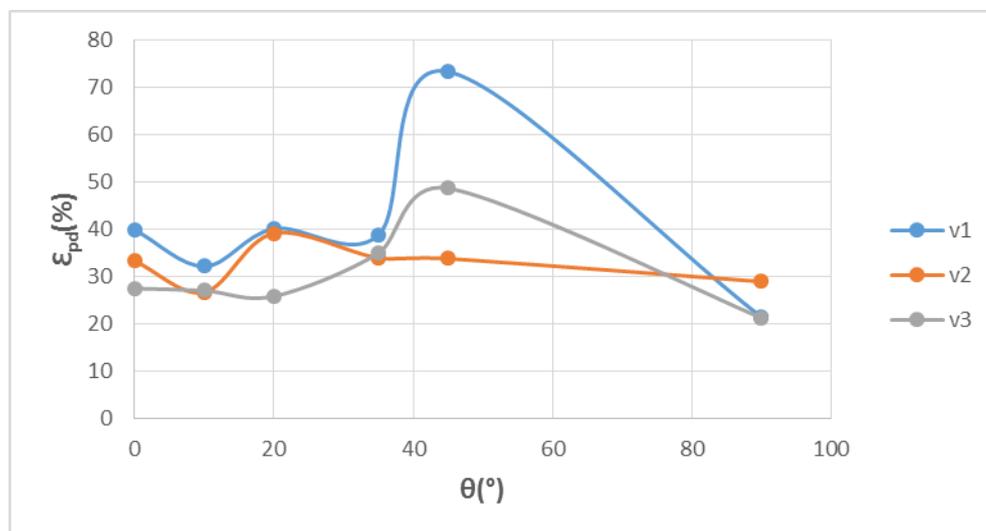


Figure I-127 : Evolution du taux de déformation au début du plateau la plasticité en fonction de l'angle de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD à des vitesses de sollicitation variantes

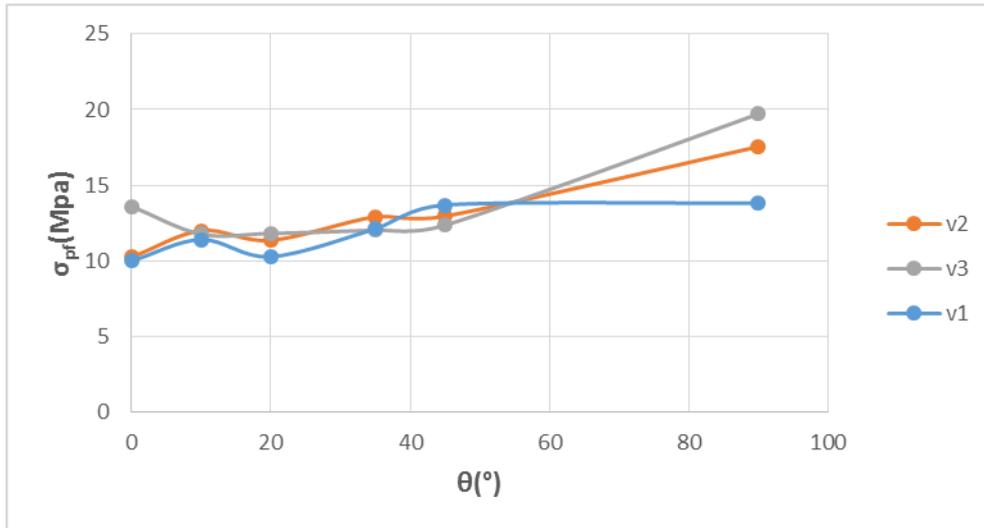


Figure I-128 : Évolution des contraintes à la fin du plateau de plasticité en fonction de l'angle de découpe des éprouvettes de la géomembrane PEHD à des vitesses de sollicitation variantes

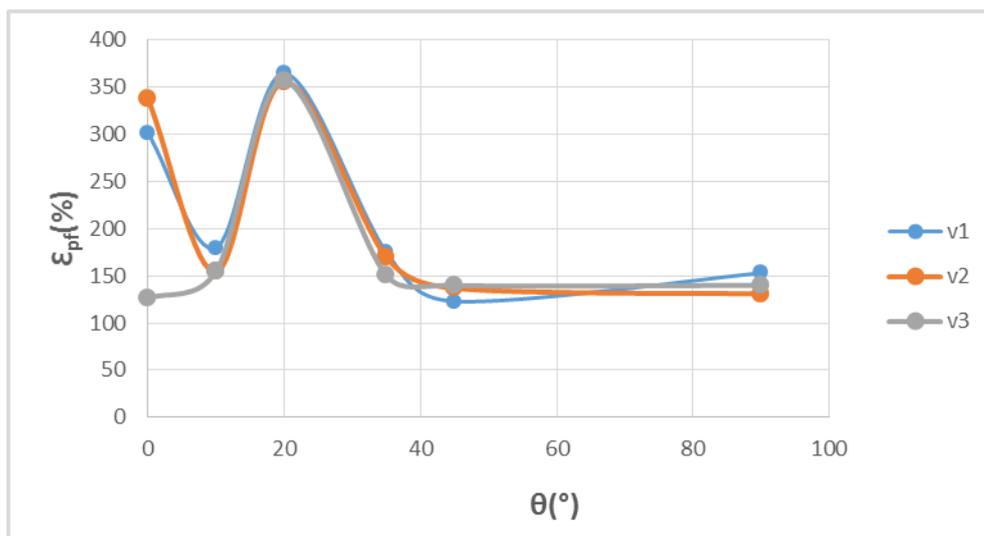


Figure I-129 : Évolution des taux de la déformation à la fin du plateau de plasticité en fonction de l'angle de coupe des éprouvettes de la géomembrane PEHD à des vitesses de sollicitation variantes.

Conclusion :

L'analyse l'évolution des modules de Young, des contraintes aux seuils d'écoulement, des contraintes aux plateaux de plasticité et des taux de déformation correspondant en fonction de l'angle de découpe selon des protocoles paramétriques

(θ_i ; $V=10$ mm/mn), (θ_i ; $V_i=20$ mm/mn) et (θ_i ; $V_i=20$ mm/mn)

présentent un comportement pseudo-linéaire dans la zone élastico-visqueuse ou non linéaire dans la zone plastique.

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

II. Essai de poinçonnement

II.1. Introduction :

En fond d'Installations des stations d'épuration des eaux usée, les géomembranes sont soumises à des sollicitations de poinçonnement liées à la couche de drainage granulaire .cette couche engendre, lors de sa mise en œuvre puis en service, des sollicitations de poinçonnement sur la géomembrane qui pourraient conduire à son endommagement voire à sa perforation et l'empêchant ainsi de remplir sa fonction d'étanchéité.

II.2. Définition :

L'essai de poinçonnement mesure la force maximum nécessaire à la perforation du produit.

Un géotextile avec une force à rupture importante aura une résistance au poinçonnement importante. La force de tension développée par le géotextile est une fonction de la force verticale développée le long de l'axe du poinçon.

II.3. Elaboration des éprouvettes :

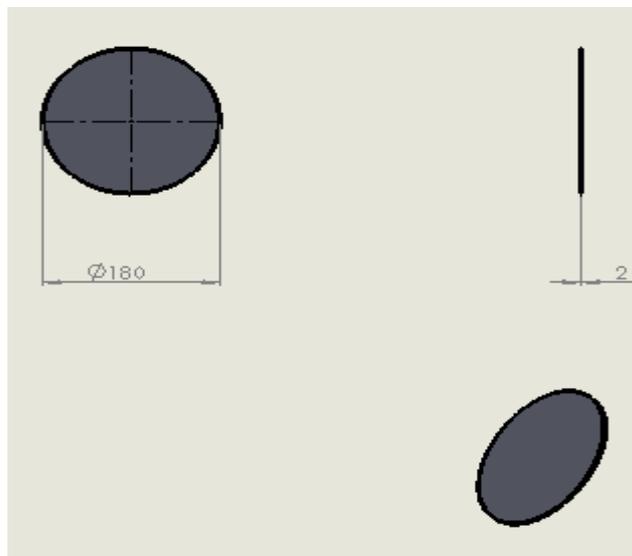


Figure II.1. Eprouvette cyleindrique pour l'essai de poinçonnement

Dimension des éprouvettes	Valeurs	Unité
Le diamètre (D)	180	mm
Epaisseur (e)	2	mm

Tableau II.1 les dimensions des éprouvettes utilisées



Figure II.2. Découpage des éprouvettes pour poinçonnemnt.



Figure II.3. Eprouvettes pour l'essai de poinçonnement.

II.4 Machine à poinçonnement :

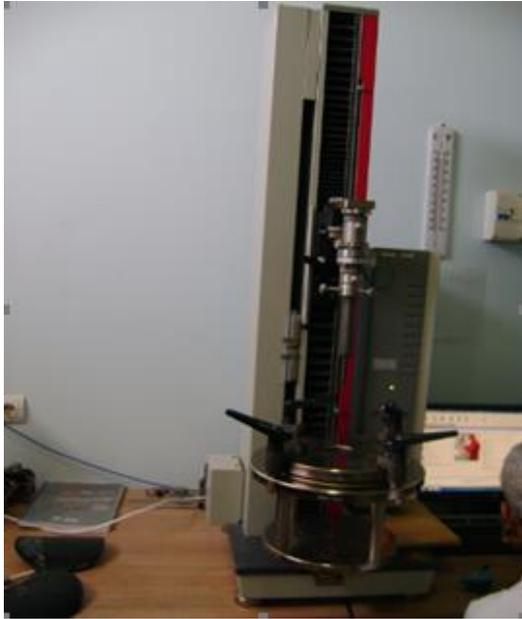


Figure II.5. Machine de poinçonnement de type Zwick/Roell Z2.5



Le poinçon



Figure II.6. Vue de l'ensemble du dispositif de l'essai de poinçonnement

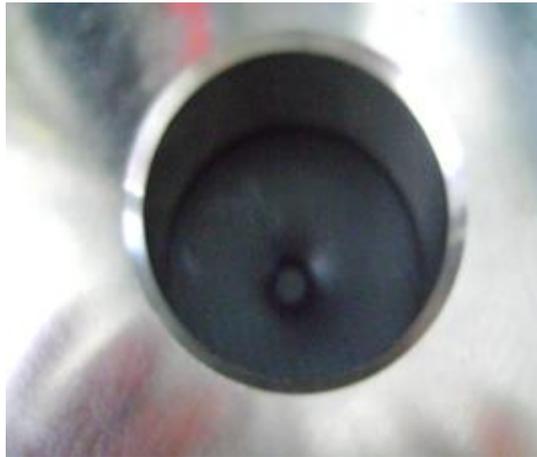


Figure II.7. .épreuve avec une empreinte de poinçonnage

Résultats :

Après avoir soumis l'éprouvette au poinçonnage dans des conditions à sec, avec une vitesse de poinçonnement qui est de $V= 10\text{mm/min}$.

Les résultats sont exprimés dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Méthode de test	Unité de mesure	Résultats		
			\bar{x} Moyenne force	S Ecart type	V Coef. de variation
Poinçonnement	ASTMD 4833	N	635.55	21.99	2.14

Tableau II.2. Caractéristiques de la géomembrane PEHD soumise au poinçonnement à $V=10 \text{ mm/mn}$

II.5. Conclusion :

Basées sur les analyses effectuées, les caractéristiques de la géomembrane PEHD à la résistance au poinçonnement sont supérieures à celles exigées par la spécification GRI-GM 13.

III. essai physico-chimique.

III.1 introduction :

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 haute densité est plus résistant aux agressions chimiques que le polyéthylène à basse densité linéaire.

Cependant, les PEHD peuvent être sensibles à la fissuration sous contrainte en présence de certains agents, ce qui n'est pas le cas du PEBDL

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 stabilisateurs 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 postcristallisation, le fluage ou la relaxation sont susceptibles de se produire, particulièrement pour le PEBDL.

Dans cette partie on va définir l'oxydation des polymères et comment procéder à sa protection. Et à la fin à déterminer les propriétés physico-chimiques avec le test de l'OIT.

III.2. Définition :

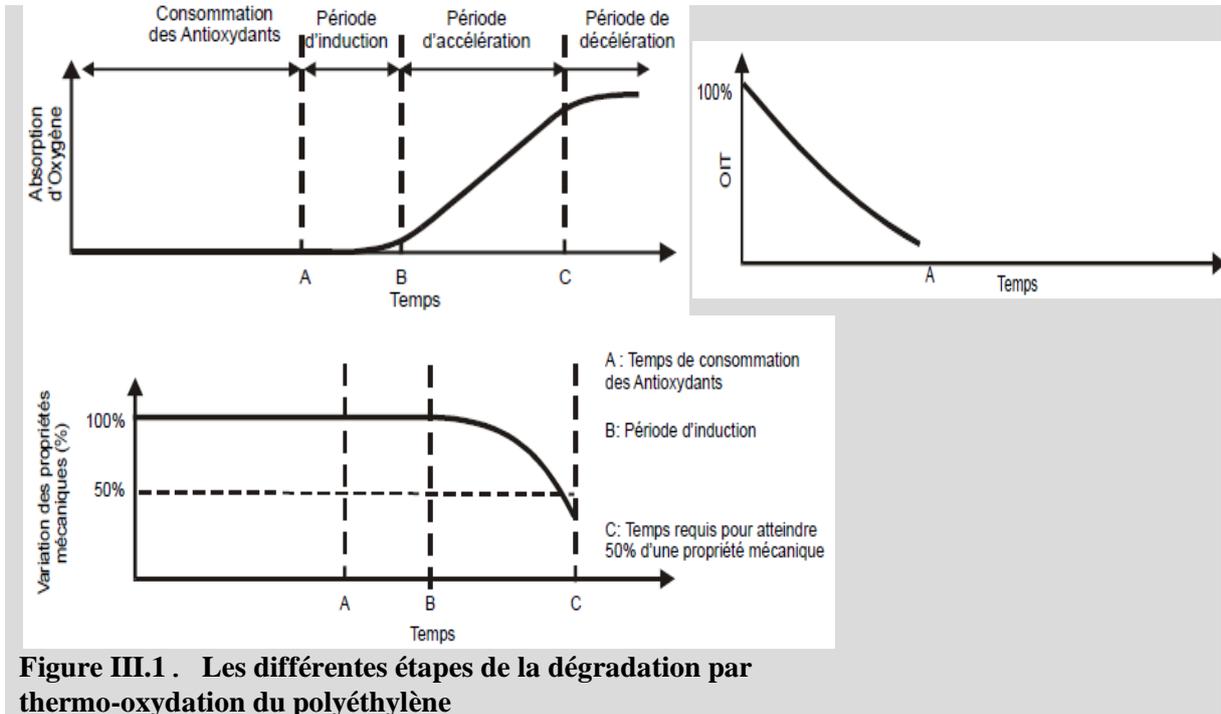
L'OIT est défini comme étant le temps entre l'admission du gaz d'oxygène dans la cellule contenant l'échantillon et la déviation de l'exotherme d'oxydation de sa ligne de base. Les standards GRI associés au PEHD et PEBDL exigent que l'OIT doit être supérieur à 100 min.

L'OIT est déterminée via un calorimètre DSC.

Le temps entre la fusion et le début de la décomposition dans les conditions isothermes est mesuré.

L'atmosphère est l'azote jusqu'à la fusion puis l'oxygène. La température typique est de 190-220 ° C.

Ce test est courant lors de l'évaluation de la qualité des matériaux organiques ou des polymères tel que les géomembranes PEHD



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.

III.3. Dispositif pour la réalisation de l’essai

Afin de réaliser cet essai on va avoir besoin d’un DSC de type : Netzsch Maia 200F3.

La **calorimétrie différentielle à balayage** (en anglais, *Differential Scanning Calorimetry* ou DSC) est une technique d’analyse thermique

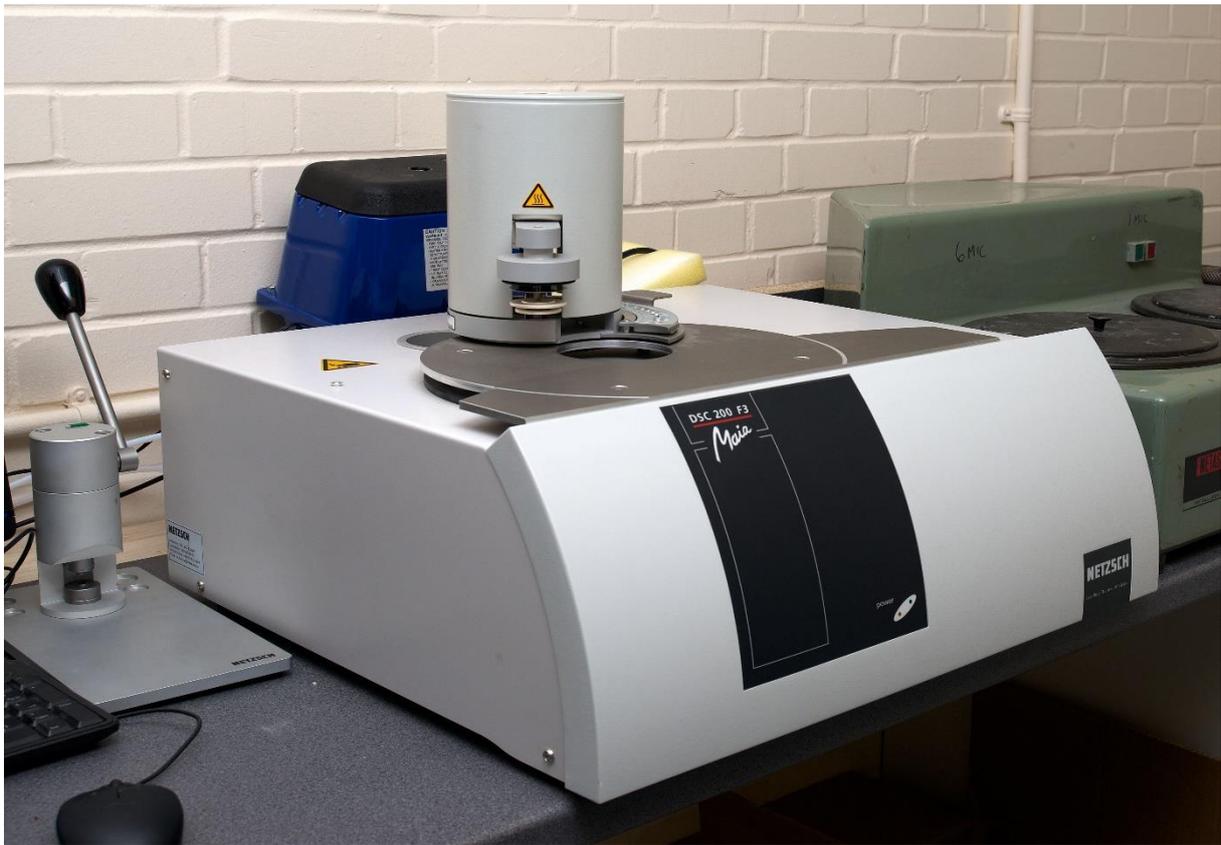


Figure III.1. Calorimétrie différentielle à balayage type : Netzsch Maia 200F3

Masse de l'échantillon : 10 mg

Conditionnement de l'échantillon : à sec

Temps : isotherme (200°)

Taux de chauffage 20 K/mn

Résultats :

OIT	➤ 167 mn
-----	----------

Conclusion :

Basées sur les analyses effectuées, les caractéristiques de la géomembrane PEHD à la résistance à l'oxydation sont supérieures à celles exigées par la spécification ASTM D 3895

Conclusion générale

A l'issu de notre projet de fin d'études sur la caractérisation de la géomembrane non-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 élastoviscoplastique 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 meilleurs que ceux prévu par les normes .

Aussi, 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.

Partie bibliographique :

- [01] : M.Fontanille et Y.Gnanou, "Chimie et physico-chimie des polymères" , Dunod , Paris (2002) .
- [02] : Philippe GALEZ-Mesures physique Ancecy-Polymères et composites-2011.
- [03] : **Matériaux composites** ; Claude BBATHIAS et Edition L'USINE Nouvelle **DUNOD, 2005.**
- [04] : Dossier Enseignant. " **VOYAGES EN INDUSTRIE**" CAP SCIENCES 2006.
- [05] : A.Bellel,"**Traitement de surface de polymère par décharge couronne et plasma**" ,Thèse de doctorat, Université Mentouri , Constantine (2004) .
- [06] : **C. Zhong Y. Jiang, F. Guo, P. Lui, W. Wu, J. Liao,**"Effect of Humidity on Transport Mechanism in Ag/7,7,8 ,8tetracyanoquinodimethaneBilayer Films", Japanese journal of applied physics Vol.45, No. 4A, P.2722-2725, (2006).
- [07] : Michel Fontanille., Yves Gnanou., chimie et physico-chimie Des polymères (cours),2^e et 3^e cycles. Dunod, Paris, 4-8, (2005).
- [08] :Techniques de l'ingénieur :
- QUET (J-P)-polyéthylène linéaire.
 - J6540 ,8P ; volume J4, traite Génie de Procèdes, déc. 1992
 - règlement particulier. Marque NF-tubes en polyéthylène. AFNOR
 - DIDIERER(c)-le polyéthylène haute densité ; information chimie, déc. 1984
 - (5) SOLVAY S.A-Le polyéthylène haute densité Eltex. Notice technique.
- [09] : Etude du vieillissement des produits textiles de type sangles, élingues et cordes toronnées. Rapport de l'IFTH (2004), 64pp.
- [10] : VERDU J.-Vieillissement chimiques des plastiques : aspects généraux, Techniques de l'ingénieur, traités plastiques et compostes, AM 3 151, 14 pp.
- [11] : VERDU J.-Différents types de vieillissement chimique des plastiques, Techniques de l'ingénieur, traité plastiques et compostes. AM 3 152, 14 pp.