

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Par

- **Mlle Louhid Kenza**
- **Mme Maouche Ferial**

Intitulé

Étude des paramètres affectant les performances de géomembrane PE dans le procédé d'extrusion cast

Soutenu le: 07/07/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Mr. HELLATI Abdelhak</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme .HAMMA Amel</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr KETFI Charaf Eddine</i>	<i>Ingenieur</i>	<i>Co-encadreur</i>	<i>ALGM BBA</i>
<i>Mme.MERZOUGUI Moufida</i>	<i>MAB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Dédicace

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman Akila j'adore.

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et Source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde, à mon père Khoudir.

A mon cher mari, Zakaria et sa famille, pour tout l'encouragement, le respect et l'amour que tu m'as offert, Je te dédis ce travail, qui n'aurait pas pu être achevé sans ton éternel soutien et optimisme. Tu es un modèle d'honnêteté, de loyauté et de force de caractère. J'espère te combler et te rendre toujours heureux.

A Mon future enfant, Dans quelques jours, inchaallah, tu seras parmi nous. Quisse dieu te protéger, te procurer santé et longue vie.

A mes chères sœurs Imane et Pharihane, pour leurs encouragements permanents, et leurs soutien moral ; Je souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.

A mes chers frères, Nouh et Mohamed Lamine, pour leur appui et leur encouragement.

A mon chère amie et mon binôme KENZA, En souvenir des moments heureux passés ensemble, avec mes vœux sincères de réussite, bonheur, santé et de prospérité.

Maouche Feriel

Dédicace

Nos remerciements vont premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.

Mes chers parents « Abd Allah- Tassaadit »

« Jamais je n'oublierai vos sacrifices pour moi, vous étiez toujours avec moi par vos encouragements et vos conseils. que vous trouviez dans ce travail une expression de mon grand amour envers vous et de ma grande reconnaissance ! Que dieu tout puissant vous protégé et vous offre la santé et une longue vie ! »

A mon chères frères « Kamel, Hocine, Messaoud, Zouhir »

A mes chères sœurs « Saloua, fatma »

A mes amies Et toutes mes chères collègues.

A mon chère amie et mon binôme Feriel.

Kenza

REMERCIEMENTS

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

Nous tenons particulièrement à remercier:

◆ Tous les enseignants de la Faculté des Sciences et de la Technologie en particulier ceux qui ont contribué à notre formation Master Génie de l'Environnement.

◆ **HELLATI ABDELHAK** d'avoir accepté de présider le jury.

◆ **MERZOUGUI MOUFIDA** pour avoir accepté de juger ce travail.

Nos remerciements vont au PDG de la société Géomembrane, **Mr MECHRI BILAL**, pour nous avoir acceptés de travailler sur ses produits et aussi de nous avoir permis d'accéder au laboratoire de la société. Nos remerciements pour vos encouragements et votre soutien aux étudiants et à la recherche en générale.

Au personnel du laboratoire de la société géomembrane, **KETFI CHARAF EDDIN**, qui nous ont aidés, particulièrement, pour effectuer la caractérisation de nos échantillons. Et bien sûr, pour leur sympathie et leur gentillesse inconditionnelle. C'était vraiment un séjour inoubliable au sein de ce laboratoire.

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

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES GÉOMEMBRANES

I.1. Historique2

I.2. Utilité et performance des géomembranes3

I.3. Composants des géomembranes6

I.3.1. Matrice De Base 6

I.3.2. Noir De Carbone7

I.3.3. Antioxydants /Stabilisants 8

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 9

CHAPITRE II

PROCEDE D'ELABORATION DES GMS POLYETHYLENE

II.1.1. Extrusion cast..... 11

a).Phase fusion.....12

b).Phase façonnage..... 12

c).Phase refroidissement..... 13

II.1.2. Extrusion soufflage..... 14

a).Phase fusion..... 14

b).Phase façonnage..... 14

c).Phase refroidissement.....	15
II.2.Les parameters affectant le procédé d'extrusion cast.....	15
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	17

CHAPITRE III

MATÉRIAUX ET TECHNIQUE DE CARACTERISATION

III.1.1. Les Géomembranes	19
III.2. Élaboration	19
III.3. Technique de caractérisation	20
III.3.1.1. Essais De Traction.....	20
III.3.1.2. Essais De Poinçonnement PIN.....	23
III.3.1.3. Essais De Dureté Shore D.....	23

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. PROPRIETES MECANIQUES	25
IV.1.EFFET DU DEBIT.....	25
IV.1.1.Evaluation de Propriétés Mécaniques En Traction.....	25
IV.1.2. Evaluation de force en Poinçonnement	29
IV.1.3. Evaluation de la dureté Shore D.....	30
IV.2.EFFET DE TEMPERATURE DES CYLINDRES.....	31
IV.2.1.Evaluation de Propriétés Mécaniques En Traction.....	31
IV.2.2. Evaluation de force en Poinçonnement.....	34
IV.2.3. Evaluation de la dureté Shore D.....	35
IV.3.EFFET DE VITESSE DE TIRAGE.....	36

IV.3.1.Evaluation de Propriétés Mécaniques En Traction.....	36
IV.3.2. Evaluation de force en Poinçonnement.....	39
IV.3.3. Evaluation de la dureté Shore D.....	40
IV.4.EFFT DE L'EPAISSEUR.....	40
IV.4.1.Evaluation de Propriétés Mécaniques En Traction.....	40
IV.4.2. Evaluation de force en Poinçonnement.....	44
IV.4.3. Evaluation de la dureté Shore D.....	44
IV.5.EFFT DE LA POSITION DE LA FILIERE.....	45
IV.5.1.Evaluation de Propriétés Mécaniques En Traction.....	45
IV.5.2. Evaluation de force en Poinçonnement.....	49
IV.5.3. Evaluation de la dureté Shore D.....	49
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	51
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	52
Résumé.....	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Image d'un site revêtu avec une géomembrane.....	4
Figure I.2. Noir de carbone.....	8
Figure II.1. Ligne d'extrusion cast.....	11
Figure II.2. Une extrudeuse mono vis.....	12
Figure II.3. La filière.....	13
Figure II.4. les cylindres.....	13
Figure II.5. Méthode de fabrication de la géomembrane à film souffle.....	14
Figure II.6. Production d'une géomembrane PEHD par la méthode de la filière circulaire.....	15
Figure III.1. Eprouvettes de traction mécanique découpée suivant le sens machinal et transversal.....	20
Figure III.2. Machine de traction universelle.....	21
Figure III.3. Allure de courbe de traction.....	22
Figure III.4. Dispositif et éprouvette de poinçonnement.....	23
Figure III.5. Instrument de mesure de la dureté shore D.....	24
Figure IV.1. Evolution du Module d'Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du débit.....	26
Figure IV.2. Evolution de la: (a)- Contrainte et (b)- Allongement à la rupture, de la géomembrane, suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du débit.....	27
Figure IV.3. Evolution de la contrainte et l'allongement ou seuil d'écoulement en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du débit.....	28
Figure IV.4. Estimation du PIN en fonction du débit.....	30
Figure IV.5. Estimation de la dureté en fonction de débit.....	30
Figure IV.6. : Evolution du Module d'Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en	31

fonction des températures des cylindres.....	32
Figure IV.7. Evolution de la contrainte et l’allongement a la rupture de traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de températures des cylindres.....	32
Figure IV.8. Evolution de la contrainte et l’allongement au seuil d’écoulement de traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de températures des cylindres.....	33
Figure IV.9. Estimation du Poinçonnement en fonction de températures des cylindres.....	35
Figure IV.10. Estimation de la dureté en fonction de températures des cylindres ...	36
Figure IV.11. Evolution du Module d’Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de vitesse de tirage...	37
Figure IV.12. Evolution de la: (a)- Contrainte et (b)- Allongement à la rupture, de la géomembrane, suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de vitesse de tirage.....	37
Figure IV.13. Evolution de la contrainte et l’allongement ou seuil d’écoulement en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de vitesse de tirage.....	38
Figure IV.14 Estimation du PIN en fonction de vitesse de tirage.....	39
Figure IV.15. Estimation de la dureté en fonction de vitesse de tirage.	40
Figure IV.16. Evolution du Module d’Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction d’épaisseur.....	41
Figure IV.17. Evolution de la: (a)- Contrainte et (b)- Allongement à la rupture, de la géomembrane, suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction d’épaisseur.....	42
Figure IV.18. Evolution de la contrainte et l’allongement ou seuil d’écoulement en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction d’épaisseur.....	43
Figure IV.19. Estimation du PIN en fonction d’épaisseur.	44

Figure IV.20. Estimation de la dureté en fonction d'épaisseur.....	45
Figure IV.21. Evolution du Module d'Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du position de la filière.....	46
Figure IV.22. Evolution de la: (a)- Contrainte et (b)- Allongement à la rupture, de la géomembrane, suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du position de la filière.....	47
Figure IV.23. Evolution de la contrainte et l'allongement ou seuil d'écoulement en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du position de la filière.....	48
Figure IV.24. Estimation du PIN en fonction du position de la filière.....	49
Figure IV.25. Estimation de la dureté en fonction du position de la filière...	50

LISTE DES ABREVIATIONS

ALGM-BBA : Algérienne Géomembrane **MECHERI** de **Bordj Bou Arreridj**

CMD: **Cross Machine Direction** (le sens transversal)

CSPE : **Polyéthylène Chlorosulfoné**

EPDM : **Éthylène-Propylène-Diène Monomère**

GMs : **Géomembrane**

kN : **Kilo Newton**

MD: **Machine Direction** (le sens longitudinal)

MPa: **Méga Pascal**

NC : **Noire de Carbone**

PE: **Polyéthylène**

PEBD: **Polyethylene Bass Density**

PEBDL: **Polyethylene Bass Density Linéaire**

PEHD : **Polyéthylène Haute Density**

PEMD : **Polyéthylène Moyenne Density**

PEL : **Polyéthylène Linéaire**

PETBD : **Polyéthylène A Très Bass Density**

PP : **Polypropylène**

PVC : **Polychlorure de Vinyle**

UV : **Ultraviolet**

PIN : **Poinçonnement**

σ_s et ϵ_s : **Contrainte et Allongement**

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La protection de l'environnement, et tout particulièrement des ressources en eau, des sols et des nappes phréatiques nécessite souvent la mise en œuvre d'étanchéités fiables pour différentes sortes d'ouvrages. Qu'il s'agisse d'ouvrages de stockage d'eau, de rejets toxiques ou de déchets, cette étanchéité est de plus en plus fréquemment assuré par des produits simples : les géomembranes [1, 2].

La fabrication des géomembranes fait appel aux matériaux polymères dont le plus utilisé est le polyéthylène. Plusieurs techniques d'élaboration sont disponible, à savoir : l'extrusion soufflage ou encore l'extrusion cast [3]. Une géomembrane de qualité dépend de la matière première, des additifs mais également, des procédés d'élaboration. Certaines conditions d'élaboration sont connues et parfaitement maîtrisé, alors que d'autres restent à élucider [4].

C'est dans cet optique que rentre notre travail, qui a pour objectif de voir l'effet de plusieurs paramètres tels que : le débit, températures des cylindres, l'épaisseur de la géomembrane, la vitesse de tirage dans la ligne d'extrusion ainsi que la position de la filière par rapport au cylindre, sur les propriétés de la géomembrane produite, dans le procédé d'extrusion cast.

Pour ce faire, le mémoire est réparti comme suit:

- **Le premier chapitre** présente des généralités sur la géomembrane polyéthylène.
- **Le deuxième chapitre** est consacré au procédé d'élaboration des géomembrane polyéthylènes.
- **Le troisième chapitre** comporte la présentation des matériaux étudiés et expose les techniques de caractérisation utilisées dans ce travail.
- Dans **le dernier chapitre** sont regroupés l'ensemble des résultats avec leurs discussions.
- **Enfin**, Nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale donnant une synthèse des résultats obtenus.

Chapitre I
Généralité sur les
géomembranes polyéthylènes

CHAPITRE I

Généralités sur les géomembranes polyéthylène

I.1. Historique

L'émergence des revêtements modernes, telle que les géosynthétiques, en particulier, les géo membranes, ont accompagnés, essentiellement, le développement et la croissance de l'industrie des polymères. Etant donné qu'ils utilisent comme matière première les polymères [5].

En effet, c'est en 1930 que les premières feuilles minces de géomembrane ont vu le jour, en utilisant du polychlorure de vinyle (PVC). Ces feuilles préfabriquées en PVC ont été placées comme une doublure pour une piscine. À la fin de cette même année, on assiste à l'émergence des feuilles de polyéthylène basse densité, expérimentées dans des applications liées au transport [5].

En 1938, on assistait à l'apparition du caoutchouc synthétique par vulcanisation du caoutchouc naturel avec du soufre. Ce produit quasi imperméable est utilisé pour le revêtement intérieur de tubes ou pour les chambres à air [2].

Cependant, le développement des matériaux synthétiques thermodurcissables a pris le dessus vers 1940 où on assiste à la fabrication des réservoirs d'eau potable revêtus avec une couche en caoutchouc butylique ou encore des revêtements de canalisation d'eau apparu vers 1950 [2].

Une foule d'activités dans le monde entier a suivi depuis ces années, en utilisant une large gamme de matériaux polymères. Des canaux d'installation maritime en chlorure de polyvinyle (PVC) ont été réalisés au Canada, en Russie, à Taïwan et en Europe tout au long des années 1960 et 1970.

Du Polyéthylène Chlorosulfoné (CSPE) a été développé en Allemagne de l'Ouest et se propage à toute l'Europe, l'Afrique, l'Australie et l'Amérique du Nord pour être utilisé dans les géomembranes [5].

En 1972, la première géomembrane polyéthylène haute densité (PEHD) qui fut utilisée s'agissait d'un bassin en Allemagne, pays où ces géomembranes ont été développées grâce à leur excellente résistance chimique et leur excellente durabilité [2].

Depuis les années 1980 et 1990, l'utilisation massive des géomembranes PEHD dans les installations de stockage de déchets a entraîné des innovations. Ainsi, en 1988, on a assisté à l'arrivée sur le marché des géomembranes polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL), plus extensibles que les géomembranes PEHD, et qui étaient destinées à être utilisées en couvertures de distillations de stockage de déchets où de grandes déformations sont prévisibles du fait de la décomposition et compression des déchets [2].

Aujourd'hui, les géomembranes ont envahi le monde entier grâce à leur double intérêt, technique et environnemental. Ils sont devenus une catégorie de géosynthétiques à part entière. Dans certaines applications, telles que les centres d'enfouissement technique, ils reçoivent en premier lieu une grande attention. Dans de tels cas les autres géosynthétiques tels que les géotextiles, les géo-grilles ou encore les géocomposites sont auxiliaires au bon fonctionnement à long terme de la géomembrane [5].

I.2. Utilité et performances des Géomembranes

Le confinement et stockage des liquides ou des solides constitue un challenge pour la protection de l'environnement (des déchets dangereux, infiltration du lixiviat...) et la préservation des ressources aquatiques (eau des pluies, eau souterraine...) [6].

Il est évident que la question qui se pose est : c'est quoi une géomembrane ? En fait, ce terme désigne des matériaux assurant une fonction d'étanchéité. Ils sont utilisés dans les travaux d'imperméabilisation, par exemple, dans la construction de bassins hydrauliques (**Figure I.1**), de barrages et de lagunes mais aussi pour

l'étanchéifiassions d'ouvrages souterrains et de sites de stockage de déchets, ainsi que pour l'imperméabilisation de toitures[7].



Figure I.1 : Image d'un site revêtu avec une géomembrane.

Les géomembranes sont donc des produits manufacturés adaptés aux applications du génie civil. Elles présentent une largeur minimale de 1,50 m ($\pm 0,05$ m) et qui peut atteindre sept mètres [8]. D'épaisseur effective de 1 mm minimum sur toute la surface de la géomembrane et dont la surface peut atteindre les 1000 m² (ou plus). Elles doivent être souples, continues, étanches au liquide même sous les sollicitations en service, selon la norme NF P 84 500 [9]. Elles sont soudables en continu quelque soient les faces en contact, par soudure thermique, par vulcanisation ou par bandes adhésives autocollantes selon la nature du produit (bitumes, thermoplastiques, caoutchouc...) [8].

Sans aucun doute, la caractéristique fonctionnelle principale des géomembrane est l'étanchéité à divers fluides en particulier, l'eau propre ou polluée, plus rarement les gaz. Cette fonction n'est assurée que par la continuité de la partie courante de la géomembrane et des points de soudabilité. En effet, ceci suppose toute absence dépècement, de fissuration, de déchirure ou autre altération de la surface. En outre, elle dépend, également, de la perméabilité intrinsèque de la matière utilisée pour sa fabrication ainsi que du produit fini. Cette perméabilité doit rester toujours inférieure aux limites exigées pour l'application considérée [9].

Cependant, les caractéristiques dimensionnelles et mécaniques doivent aussi être prises en compte pour la conception et le dimensionnement des ouvrages en géomembrane [1].

Lors de l'installation de ces matériaux, ils peuvent être perforés par des outils, des machines, des agrégats ou encore des saillies dans le sol de fondation. Lors de la mise en place de la couverture de sol, des chutes de pierres ou la pression de l'équipement peuvent perforer la géomembrane et une fois recouverte, les trous ne sont plus visibles [1].

Pendant la durée de vie de l'installation, la géomembrane peut être sujette à un affaissement progressif et un perçage formant éventuellement des trous. Tandis que les géomembrane non couvertes sont toujours soumises aux agressions de rongeurs, mouvement d'animaux, à l'action de la grêle, à des débris flottants ou à la chute d'agrégats. Tout ceci constitue une vraie menace pour l'intégrité de la fonction d'étanchéifiassions de la géomembrane et sa perduration à long terme. L'évaluation de la résistance à la perforation estimée par la mesure de la force maximale de perforation, devient dans ce cas plus qu'une nécessité. Plus cette force est importante et mieux est pour la géo membrane [1].

Les géomembrane doivent aussi avoir une certaine résistance à la fissuration lorsqu'elles sont soumises à des contrainte environnementale diverses résultantes, par exemple, de la présence combinée de substances tensioactives rencontré dans la lixiviation des centres d'enfouissement de déchets ainsi que les contraintes induites par la déformation du sol ou des couches de déchets. À cela s'ajoute, l'exposition aux conditions climatiques variables de la géomembrane comme dans le cas des revêtements des toitures et des bassins, etc. En plus des agressions des microorganismes et des rongeurs qui engendrent des altérations physiques [10].

Les propriétés mécaniques de traction unie et bi axiaux, en particulier, l'allongement et la contrainte à la rupture ainsi que le module des géomembrane, sont aussi des paramètres à prendre en compte à long terme lors de leur conception [10].

I.3. Composantes des GMS PE

Aucune géo membrane n'est constituée d'un seul composé polymérique. Dans tous les cas, ce dernier est mélangé à une combinaison d'additifs (antioxydants et stabilisants) ainsi qu'une fraction de charge de noire de carbone ou/et d'oxyde de titane. Ce mélange permet une meilleure protection de la géo membrane vis-à-vis des conditions d'exposition variables [11].

I.3.2. Matrice De Base

La matrice est l'élément majoritaire dans une géomembrane qui lie et maintient les charges additionnées. Elle répartie les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure la protection chimique des charges [12].

Dans les géomembrane polyéthylène, la matrice est donc principalement composée de polyéthylène en proportion pouvant atteindre les (95%). Cette matrice est une polyoléfine issue de la polymérisation de l'éthylène ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) [13,14]. Les méthodes industrielles de synthèse de l'éthylène ainsi que les conditions opératoires (basse, haute pression, T), avec utilisation de différents catalyseurs (Ziegler Natta, Philips...), conduisent à diverses structures de polyéthylènes linéaire (PEHD), ramifié (PEBD), ramifié avec courte chaîne (PEBDL), ramifié avec longue chaîne (PEMD) [15].

Typiquement, les polyéthylènes utilisés en industrie, présentent un degré de polymérisation très élevé résultants des poids moléculaires moyens supérieurs à 200000 g/mol dont la distribution du poids moléculaire est variable [16].

Le taux de cristallinité dépend de cette longueur, des ramifications existantes et de leurs longueurs [13]. Ceci affecte la densité du polyéthylène, d'où vient la classification PEHD, PEBD....

I.3.3. Noir De Carbone

Le noir de carbone se présente sous la forme d'une poudre noire constituée de particules présentant une hiérarchie de caractéristiques morphologiques. À l'échelle nanométrique, les particules de noir de carbone sont une masse colloïdale avec des particules quasi-sphériques. Ces derniers sont constitués par des atomes de carbone ayant une organisation plus ou moins graphitique [17].

L'architecture organisationnelle du noir de carbone est complexe (**figure I.2**) il est organisée à l'échelle microscopique sous forme de particules élémentaires dont les dimensions sont de quelques dizaines de nanomètres. Ces particules sont liées entre elles par des liaisons covalentes pour former des nodules. L'assemblage de ces derniers donne des entités tridimensionnelles complexes d'une centaine de nanomètres appelées agrégats. À leur tour, ces agrégats s'assemblent en amas par l'action des forces de Vander Waal pour former des agglomérats dont la taille peut atteindre plusieurs centaines de microns [18].

Le noir de carbone est obtenu par combustion incomplète ou décomposition thermiques des hydrocarbures (huile minérale, charbon bitumineux, huile de goudron, gaz naturel, etc.). Suivant le procédé et la matière première utilisés, on distingue différents types : noir de fourneau, noir d'acétylène, noir de fumée, noir thermique, noir au tunnel [18].

Dans les GMS, en particulier à matrice polyoléfine, essentiellement en PE, le NC est très utilisé comme stabilisant contre les rayonnements UV. Sa composition est comprise entre 2 et 3 %. Il est incorporé sous forme de mélange maître [19].



Figure I.2 : Noir de carbone [20].

I.3.4 Les Antioxydants/stabilisants

Les antioxydants/ stabilisants sont rajoutés pour deux fins. A haute température (200-220 °C), ils permettent la protection pendant le processus d'extrusion.

Par contre à basse température (température d'usage), ils assurent la protection contre la dégradation thermo oxydative des polymères. Jusqu'à ce que les antioxydants/stabilisants soient épuisés, il ne peut y avoir de vieillissement de la matrice, leur importance est donc cruciale [21].

Pour les géomembranes poly oléfiniques, entre autre PE, le mélange stabilisants peut contenir plusieurs antioxydants et stabilisants de familles variables comme :

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

Les propriétés de la géomembranes obtenues sera donc essentiellement influencée par la structure moléculaire de la résine (longueurs des chaînes, distribution de poids moléculaire, linéarité des chaînes, etc.), mais aussi par le processus de fabrication et notamment la vitesse de refroidissement imposée lors de la mise en forme du produit ainsi que d'autres paramètres se relatant au procédés de fabrication [21].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] S. LAMBERT ; « les géomembranes», ingénieries - e a t, irstea édition, 1997.
- [2] J.P.GIROUD; « introduction aux géomembranes», techniques de l'ingénieur l'éditeur technique et scientifique de référence,2015.
- [3] D.M.V ROSATO ;« plastic product matériel and process sélection hand book »,usa ,2004.
- [4] J.P.GIROUD ; « géotextiles and géomembranes», usa , 1984.
- [5]A.ROLLIN, et J-M.RIGO ;«géomembrane identification and performance Testing », crc press, 1990.
- [6] TEX DELTA; «géomembranes de hdpe et edpd pour imperméabiliser ou de barrage » . <https://texdelta.com>.
- [7] H. BANNOUR; « evaluation des transferts adjectifs à travers les etanchéités composites géomenbranes géosynthétiques bentonitiques des barrières de fonds d'installations de stockage de déchets» , sciences de la terre, université de grenoble, français, 2014.
- [8] « recommandations générales pour la réalisation d'etanchéités par géomembranes»,2018.
- [9]J. P. BENNETON; « durabilité des géomembranes. vieillissement physicochimique et endommagement mécanique» , rapport sur la durabilité des géosynthétiques, laboratoire central des ponts et chaussées, paris, 2008.
- [10]C.MAISONNEUVE, P. PIERSON et A. MORIN; «vieillissement des géomembranes dans les centres de stockage de déchets: mécanismes et essai accéléré» , française , 1998.
- [11] J. KARL FINK , « a concise introduction to additives for the r m o p i a s t i c p o i y m e r s », Austria.
- [12] TH. SENNINGER ;« catalyse de polymérisation, ed. techniques ingénieur », 1998.

[13] C. PON ; thèse de doctorat ; «durabilité des géomembranes en polyéthylène haute densité utilisées dans les installations de stockage de déchets non dangereux », france, 2012.

[14] J. SCHEIRS; « a guide to polymeric géomembrane», excelplas géomembrane testing services, edith vale, australia 2009.

[15] D. B. MALPASS; « introduction to industrial polyethylene», published simultaneously in canada, 2010.

[16] V. CHAFFRAIX ;thèse doctorat ; «étude de l'extrusion du polyéthylène téréphtalate et de mélange non compatibilités avec le polyéthylène haut densité» ,paris 2002.

[17] M. HASSAR ; «influence des nano-charges de noir de carbone sur le comportement mécanique de matériaux composites: application au blindage électromagnétique», université de technologie de compiègne, 2013.

[18] T. GUPTA ;« noir de carbone, le gris et le transparent»,ca usa.

[19] W.W.MÜLLER; « hdpe géomembranes in geotechnics », federal institute for materials research and testing (bam), 12205 berlin, germany, 2007.

[20] S. KHALID JEBUR ; «analyse et caractérisation de la production de noir de carbone», spring 2018.

[21]J. SCHEIRS; « a guide to polymeric geomembranes: practical approach » , wiley series in polymer science, excelplas geomembrane testing services, australia, 2009.

Chapitre II

Procédé d'élaboration des

Géomembranes polyéthylène

CHAPITRE II

PROCÉDÉ D'ELABORATION DES GÉO-MEMBRANES POLYETHYLENE

Les géomembranes polyéthylène peuvent être fabriqué avec des faces lisses ou texturés ou mono ou plusieurs couches. Dans tous les cas ils doivent être relativement homogènes [1]. Les deux méthodes les plus courantes pour la fabrication des géomembranes polyéthylène sont l'extrusion cast ou l'extrusion soufflage.

II.1.1 Extrusion cast

La production des géomembranes PE se fait, généralement, par extrusion cast. Ce procédé est aussi pratiqué pour la fabrication d'autres géomembranes à base de Polypropylène(PP) ou de l'Ethylène -Propylène-Diène Monomère(EPDM)[2].

La Géomembranes PE traverse trois phases principales pendant son processus de fabrication, à savoir la:(**figure II.1**)

- Phase de transformation (fusion),
- Phase de façonnage,
- Phase de refroidissement.

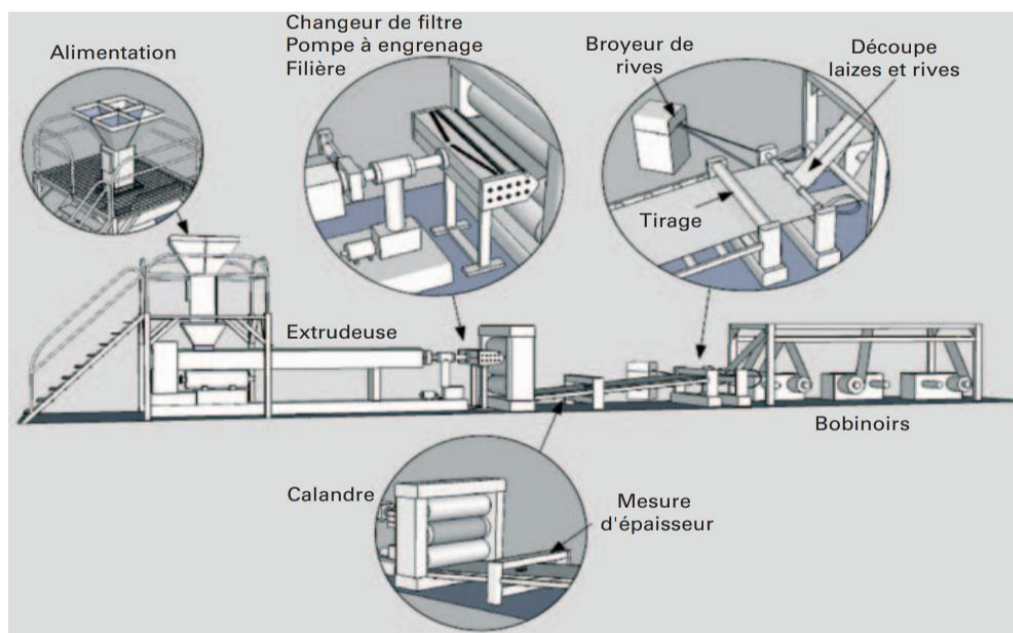


Figure II.1: Ligne d'extrusion cast[3].

a) Phase de fusion

La phase de fusion implique l'utilisation d'une extrudeuse mono ou bivis. Cette étape est considérée comme l'étape de base dans le processus d'extrusion où les matières premières sont fondues, malaxés et cisailés pour devenir des matériaux homogènes [3].

L'extrudeuse (**figure II.2**) est composée, principalement, d'une trémie, un fourreau cylindrique contenant une vis régulée en température sur plusieurs zones grâce à des résistances chauffante thermocouple. La vis tourne avec une vitesse donnée qui permet une production d'un extrudât avec un débit considéré. La température des diverses zones est fonction de la matière première utilisée. Certains composants tels que la vis et le fourreau ont aujourd'hui fait leurs preuves. Les phénomènes d'usure vis-fourreau sont sous contrôle grâce la maîtrise de la technologie des revêtements .En plus de ça, la technologie de fusion et les températures des chambres sont bien connues. En général, l'extrusion est l'un des procédés dont on maitrise la technicité [4].

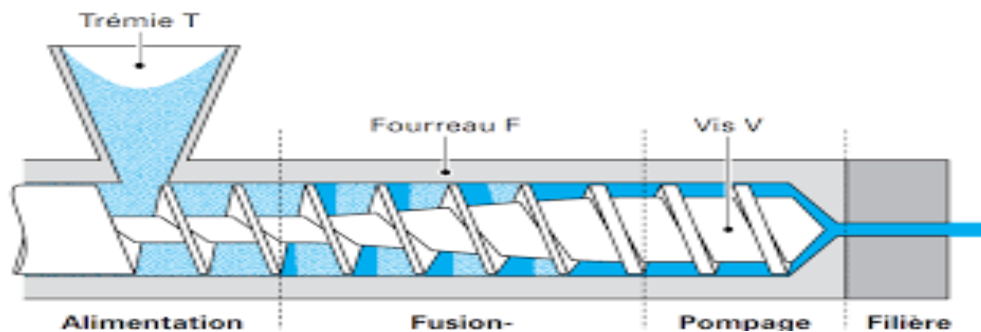


Figure II.2 : Schéma de l'extrudeuse mono vis.

b) Phase de façonnage

Dans cette phase intervient à la fois, la filière et les cylindre. Dans le cas le plus simple, l'orifice qui constitue la filière est rectangulaire, on parle dans ce cas d'une filière plate d'où l'appellation de l'extrusion « cast ». La largeur de la filière (dans la direction horizontale) est égale (ou légèrement supérieure) à la largeur de la géomembrane ainsi produite alors que la hauteur de l'orifice (**figure II.3**) qui constitue la filière est égale à l'épaisseur de la géomembrane ainsi produite. La hauteur de l'orifice qui constitue la filière varie légèrement au cours du temps pour de multiples causes (usure, contraintes, variation de T)[5].

Pour fixer et ajuster l'épaisseur de la géomembrane ainsi produite, celle-ci passe à travers des cylindres (3cylindres) fonctionnant à différentes températures, dont la longueur est équivalente à celle de la filière [6]. Ces cylindres sont disposés sous forme de « S », comme le montre (**figure II.4**), avec des distances entre eux fixées suivant l'épaisseur désirée. L'un des cylindres peut être lisse ou comprend des motifs suivant que le produit fini soit de surface lisse ou bien structuré.



Figure II.3 : La filière [7].



Figure II.4: les cylindres [8].

c)Phase de refroidissement :

L'étape de refroidissement est la dernière étape de la fabrication de la géomembrane. Dans cette phase le refroidissement s'effectue à plusieurs niveaux à savoir au contact des cylindres et à l'air libre [9-10].

- Au niveau des cylindres : à la sortie de la filière, la géomembrane se trouve à une température élevée. Le premier contact se fait avec l'air ambiant avant d'atteindre le cylindre inférieur, dont la température est moindre. Ce qui va permettre le refroidissement de la géomembrane sortante. Ceci va affecter la cristallisation des chaînes macromoléculaires du polymère et ainsi permet de contrôler les propriétés optiques de la géomembranes (brillance) mais peut affecter, également, les propriétés mécaniques. D'autres passages auront lieu à des températures distincts mais plus importantes que le cylindre inférieur.

- A l'air libre : le refroidissement complet s'effectue après le passage à travers les cylindres, le long de la partie de tirage. Durant cette étape, l'air est le principal facteur de refroidissement.

II.1.2.Extrusion soufflage

Comme le précédent, ce procédé, également, passe par trois étapes principales de fusion, façonnage et de refroidissement (figure II.5).

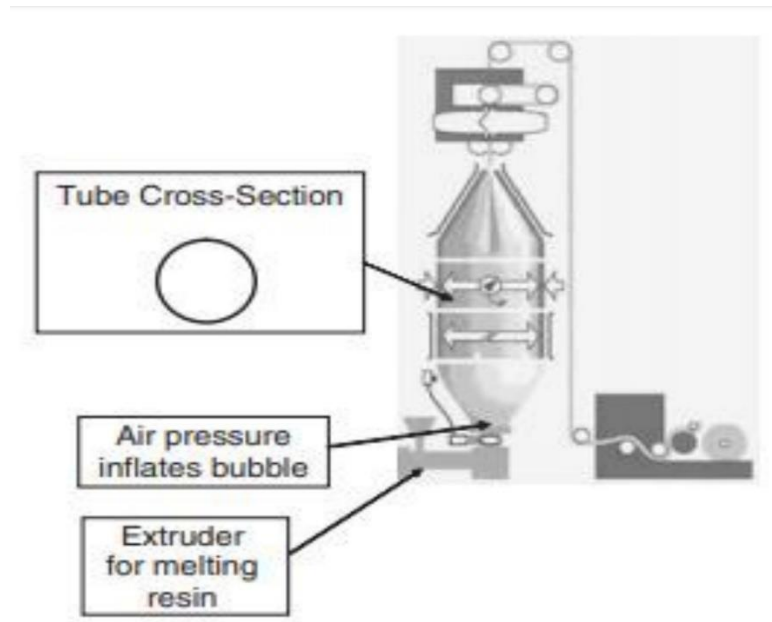


Figure II.5 : Méthode de fabrication de la géomembrane à film souffle [5].

a) La phase de fusion s'effectue semblablement à l'extrusion cast.

b) Phase de façonnage

Dans cette phase, la géomembrane est produite par une filière circulaire ayant un espace annulaire égale à l'épaisseur désirée de la géomembrane, et son diamètre est égal à la moitié de la largeur de la géomembrane fabriquée (7-10 m). Cette méthode permet d'obtenir un tube circulaire, qui va être tiré mécaniquement et soufflé grâce à un jet d'air continu. Cette filière annulaire, permet une traction mécanique biaxiale du tube sortant de la géomembrane. A la sortie, le tube est coupé le long d'une génératrice pour obtenir une géomembrane de largeur L (7-10 m) plié sur les deux bord avec un plis de 1.5 m chacun. Celle-ci est ensuite tirée et redirigée vers le bas pour être enroulé sur un mandrin [6].



Figure II.6 : Production d'une géomembrane PEHD par la méthode de la filière circulaire [6].

c)Phase de refroidissement

Contrairement à l'extrusion cast, le refroidissement initial dans le procédé d'extrusion soufflage des géomembranes, s'effectue par l'air injecté le long du tube. En plus de ça au cours de son tirage mécanique, l'air ambiant permet, aussi, de refroidir le matériau [11].

II.2. Paramètres affectant le procédé d'extrusion cast

Lors de l'utilisation de tout procédé d'extrusion, des conditions appropriées doivent être atteintes afin de produire une géomembrane de qualité exigée par les normes appliquées dans les divers domaines d'application.

La ligne d'extrusion cast et de soufflage, utilisée pour la fabrication des géomembrane polyéthylène ou encore d'autres types, comporte comme, on l'avait souligné, précédemment, plusieurs parties [1]. Les réglages effectués dans chacune des composantes de la ligne de production, peut affecter différemment les propriétés du produit fini et de là ses performances [12-13-14].

Certaines études se sont intéressées à ces réglages et à la variabilité des types d'instruments. Par exemple, dans la partie extrusion, la présence d'une mono ou double vis agit sur l'homogénéisation du mélange à transformer et sur la qualité du cisaillement suivant l'étude réalisée par Francis PINSOLLE [3].Il a souligné les différents types

d'extrudeuse, leurs avantages, et les différents réglages qui affectent leur travail pour une qualité donnée du produit fini. Tout d'abord, il suggère que l'extrudeuse mono-vis présente une structure simple donc un prix bas alors que dans la double vis, sa structure est complexe d'où son prix élevé.

La forme de la matière première détermine aussi le type à utiliser. Une mono vis lors de l'utilisation de granulés. Dans ce cas la dégradation par cisaillement du polymère est faible, et le temps de séjour des matériaux dans l'extrudeuse est plus long. Alors que la double vis présente une capacité de mélange et de plastification plus importante, et le matériau reste dans l'extrudeuse pendant une courte période, ce qui convient au traitement des poudres [15].

Référence :

- [1] B. N.I. KAZANKON.Y.V ; «formation de polymeres chimie », moscou, russie, 2011.
- [2] D.M.V ROSATO; « plastic product material and process selection handbook », usa, 2004. [3] F.PINSOLLE;«extrusion de feuilles – plaques», 2009.
- [4] J.P. GIROUD ; « terrassement et geomembranes », usa, 2015
.www.techniquesingenieur.fr.
- [5] J.SCHEIRS; « a guide to polymeric geomembranes excelplac geomembrane testing services, edith vale», australia 2009.
- [6] J.P.GIROUD; « composition et production des geomembranes », usa, 2015.
- [7] <https://www.directindustry.fr/prod/breyer-gmbh-maschinenfabrik/product-75056-2225811.html>.
- [8] <https://www.unionextrusion.it/en/rigid/geomembrane>.
- [9] G.DENIS;«extrusion-soufflage et injection soufflage», techniques de l'ingenieur.
- [10] D. SILAGY; « extrusion des polymeres vue du procede film a plat extrusion de film a plat : cast film »,2005.
- [11] F.BELCADHI; « extrusion de films, feuilles et plaques plastiques », 2016 .
- [12] M. HASSAR ; universite de technologie de compiegne ; «influence des nanocharges de noir de carbone sur le comportement mecanique de materiaux composites: application au blindage electromagnetique», 2013.
- [13] J. SCHEIRS; « a guide to polymeric geomembranes: practical approach wiley series in polymer science, excel plas geomembrane testing services », australia, 2009.
- [14] C. PON ; universite paris-est ; «durabilite des geomembranes en polyethylene haute densite utilisees dans les installations de stockage de dechets non dangereux», français, 2012.
- [15] A.BOUROCHE ET M.LE BARS ; « la cuisson-extrusion », paris,1996.

Chapitre III

*Matériaux et Technique de
caractérisation*

CHAPITRE III

Matériaux et Technique de caractérisation

III.1. La Géomembrane

Les géomembrane PEHD utilisées dans ce travail sont des géomembranes commercialisées par l'unité ALGM de BBA. Les échantillons sont offerts gracieusement par l'unité. Les géomembranes sont constituées d'une fraction majoritaire contenant (95 %) de polyéthylène moyen densité et 5 % d'un master batch composé de noir de carbone et un mélange stabilisant/ antioxydant.

III.2. Elaboration

Les géo membranes étudiées sont élaborées par le procédé d'extrusion cast sur une ligne de production allemande type « Khaune K125 ». Cette ligne est constituée, initialement d'une extrudeuse mono vis dont les chambres de l'extrudeuse sont aux températures variant de 180-210°C. Ensuite une filière plate d'une largeur de 7.1 m, est disposée après une série de tamis positionnés à la sortie de la vis de l'extrudeuse. L'extrudât sort de la filière avec un débit Q (kg/h). Trois cylindres notés C_1 , C_2 et C_3 succèdent fonctionnant à des températures (°C) notées C_{1-T} , C_{2-T} et C_{3-T} , respectivement, pour le cylindre N° 1, 2 et 3. Les cylindres N°2 et 3 sont réglés de telle sorte à obtenir l'épaisseur désirée (en mm) de la géomembranes notée «e». Pour tirer la feuille de géomembrane ainsi obtenue, des rouleaux de tirage fonctionnant à une certaine vitesse «V» donnée en (m/min) sont utilisés. Durant l'élaboration de ces géomembranes, plusieurs paramètres ont été varié afin d'étudier leur influence sur les propriétés finales des géomembranes obtenues. Les paramètres en question sont:

- Le débit (Q_{700} , Q_{800} et Q_{900}),
- La température du cylindre N°1, 2 et 3 (noté : pour le cycle N°1 : C_{1-T1} , C_{1-T2} , C_{1-T3} , pour le cylindre N° 2 : C_{2-T1} , C_{2-T2} , C_{2-T3} et le troisième cylindre : C_{3-T1} , C_{3-T2} et C_{3-T3}),
- La vitesse du tirage (V_1 , V_2 et V_3)
- l'épaisseur (e_1 , $e_{1.5}$ et e_2) du produit fini
- La position de la filière en cm (noté $D_{4.5}$, $D_{6.2}$ et $D_{8.2}$).

III.3. Techniques de caractérisation :

Des échantillons sont découpés à partir des rouleaux de géomembranes obtenues. La prise est réalisée le long de la longueur en prenant en compte une marge des extrémités et le milieu. Ces échantillons ont servi aux tests mécaniques de traction, de perforation et à la détermination de la dureté.

III.3.1. Test de traction :

Les propriétés mécaniques de traction à savoir : la contrainte et l'allongement au seuil « σ_s , ϵ_s » et à la rupture « σ_R , ϵ_R » ainsi que le module « E » des géomembranes testés, ont été évalués sur une machine de traction universel type «*ZWICK/ROELL Z 2.5*». Les échantillons ont été conditionnés au moins «*20 heures*» à une température de « $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ». Deux séries d'éprouvettes, chacune contenant six éprouvettes, ont été découpées suivant le sens machinal et le sens transversal (**figure III.1**). Pour une meilleure représentativité des résultats, les éprouvettes sont découpées le long de la largeur de la feuille géomembrane suivant la norme «*EN ISO 527-3*» (en prenant en compte le côté gauche, droit et le milieu de la feuille de largeur 7.1 m) (**figure III.2**). La moyenne de tous les échantillons a été prise pour chaque sens. Le test a été réalisé en utilisant une charge d'1 kN, avec une vitesse de traction de 100mm/min.



Figure III.1 : Eprouvettes de traction mécanique découpé suivant le sens machinal et transversal

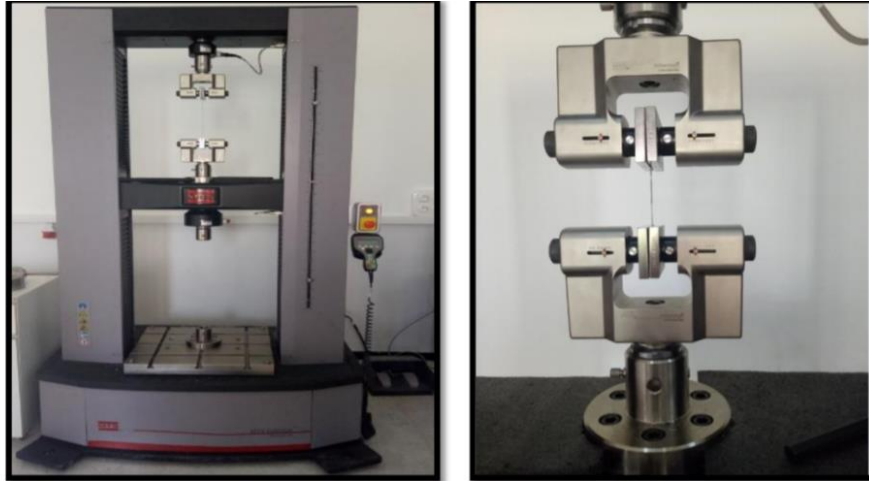


Figure III. 2 : Machine de traction universelle.

Les propriétés de traction ont été calculées à partir de la courbe contrainte-déformation obtenu via le test de traction mécanique, comme suit:

- **Module d'élasticité** : il est déterminé dans la partie élastique de la courbe contrainte-déformation entre les limites de déformation 0.25% et 0.05 %, suivant l'équation 1.

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

Où :

E: Module d'élasticité (MPa).

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

$\varepsilon_{0.0025}$, $\varepsilon_{0.0005}$: est la **déformation**, respectivement, de 0.25 et 0.05 %.

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

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

Où :

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

S: Section initial (m²).

- **Déformation à la rupture** : C'est l'augmentation de la distance entre les repères sur la partie calibrée de l'éprouvette produite par une charge de traction au moment de la rupture de l'éprouvette. Elle est exprimée par l'équation suivante :

$$\varepsilon_r(\%) = \Delta l * 100 / l_0 \quad (3)$$

Où:

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

l_0 : Longueur initiale de l'éprouvette.

l : Longueur finale de l'éprouvette.

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

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

Où :

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

S : Section initial (m²).

- **Allongement au seuil** : Il est donné par l'équation (5) :

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

Où :

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

l_0 : Longueur initiale de l'éprouvette;

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

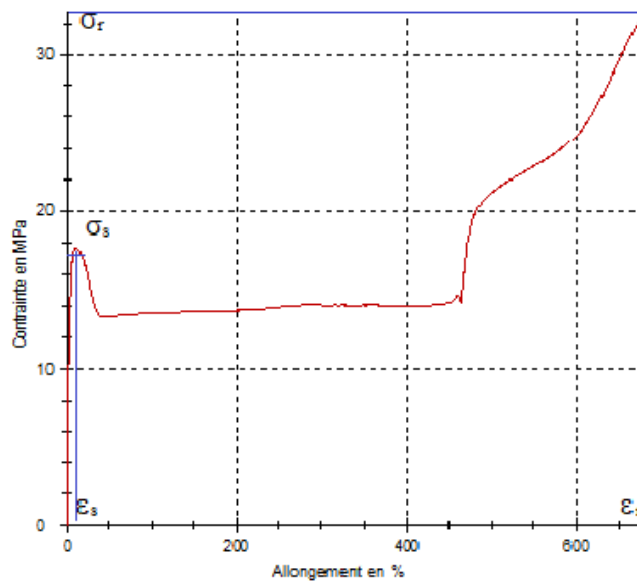


Figure III.3: Allure de courbe de traction.

σ_s : Contrainte au seuil d'écoulement.

ε_s : Allongement au seuil d'écoulement.

σ_R : Contrainte à la rupture.

ε_R : Allongement à la rupture.

III.3.2. Test de poinçonnement

Le test de poinçonnement est une méthode d'essai d'écrite dans la norme ASTM D4833-07. Pour déterminer la résistance des GMS au poinçonnement statique, un poinçon plat d'un diamètre de « 0.8 mm » est amené au contact de l'éprouvette sous forme d'un disque de diamètre « 150 ± 0.5 mm », et enfoncer au travers de celle-ci à une vitesse de « 50 ± 5 mm/min ». L'enregistrement de l'enfoncement commence à une pré-charge de 20 N. ce test a été réalisé sur la machine de traction précédente ayant un dispositif de poinçonnement (**figure III.4**) qui permet la fixation de l'échantillon et du poinçon.

Dans ce test, également, les éprouvettes ont été découpées le long de largeur de la feuille de géomembrane en prenant en compte le côté gauche, droit et le milieu de la feuille de largeur de « 7.1 m ».



Figure III.4 : Dispositif et éprouvette de poinçonnement.

III.3.3. Essais de dureté shore D

La dureté Shore D a été déterminée sur un duromètre « ZWICK/ROELL 3130/3131 », suivant la norme « ASTM D2240 ». L'échantillon est placé sous l'aiguille

du d'uromètre, une charge de 5 kg est appliquée, mais la valeur de la dureté n'est lue qu'après la stabilisation de l'aiguille dans la matière. Une vingtaine de mesures ont été effectués sur chaque échantillon à des points distants d'environ « 20 mm » les uns des autres et d'environ « 10 mm » des bordures de l'échantillon. Les résultats sont exprimés par la moyenne de cette vingtaine de valeurs réalisées (**figure III.5**).



Figure III.5: Instrument de mesure de la dureté shore D.

Chapitre IV

Résultats et discussions

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Dans cette partie on va exposer l'ensemble des résultats obtenus et leur interprétation. L'effet de chaque paramètre étudié, à savoir : le débit, l'épaisseur et la température des cylindres a été montré. En plus de ça, la vitesse du tirage ainsi que la position de la filière ont été, aussi exploré pour évaluer le comportement en traction (rupture, seuil et module d'Young), en perforation et la dureté des Géomembrane étudiées.

IV.1.Effet du débit

IV.1.1Evaluation des propriétés mécaniques en traction

a- Sur le Module élastique

La **Figure IV.1** représente l'évolution du Module d'Young des géomembranes en fonction du débit choisi (700, 800 et 900 kg/h) obtenues suivant le sens transversal (CM) et longitudinal (M).

D'après les résultats de la **Figure IV.1**, on remarque que la valeur du module d'Young augmente avec l'augmentation du débit et ceci, pratiquement, suivant les deux sens. Cette augmentation est plus visible dans le cas des géomembranes prises suivant le sens transversal. En effet, une augmentation de 71 % est enregistré pour un débit de 900 kg/h en comparaison au débit 700 kg/h. Alors que dans le sens longitudinal, on a enregistré une augmentation de 70 %.

Puisque un module d'Young élevé indique un matériau plus rigide, et vice versa, on conclue qu'avec l'augmentation du débit, la rigidité des géomembranes augmente, également. Cette augmentation de la rigidité peut être due à une augmentation de la cristallinité des géomembranes lors de l'augmentation du débit [1].

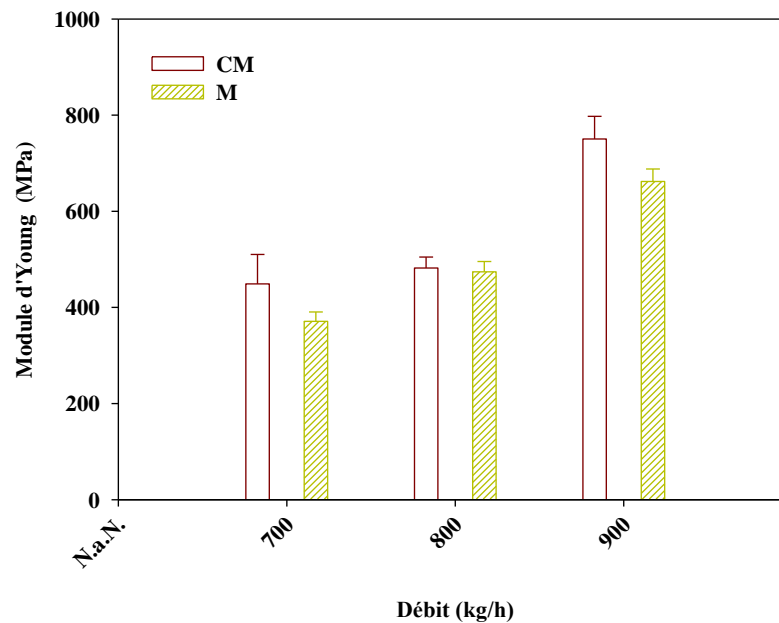


Figure IV.1: Evolution du Module d'Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du débit.

b) Sur la contrainte et l'allongement à la rupture

La **Figure IV.2-a et b** représentent les valeurs, respectivement, de la contrainte et de l'allongement à la rupture, en fonction du débit, suivant les deux sens (transversal et longitudinal).

A partir de ces résultats (**figure IV.2-a**), on remarque que les valeurs de la contrainte à la rupture varient, légèrement, avec l'augmentation du débit. Même si la tendance montre une faible augmentation suivant le sens transversal et une faible diminution suivant le sens longitudinal.

Pour l'allongement à la rupture (**figure IV.2-b**), aucun changement n'est observé, avec la variation du débit, en tenant compte de l'écart type enregistré pendant le test.

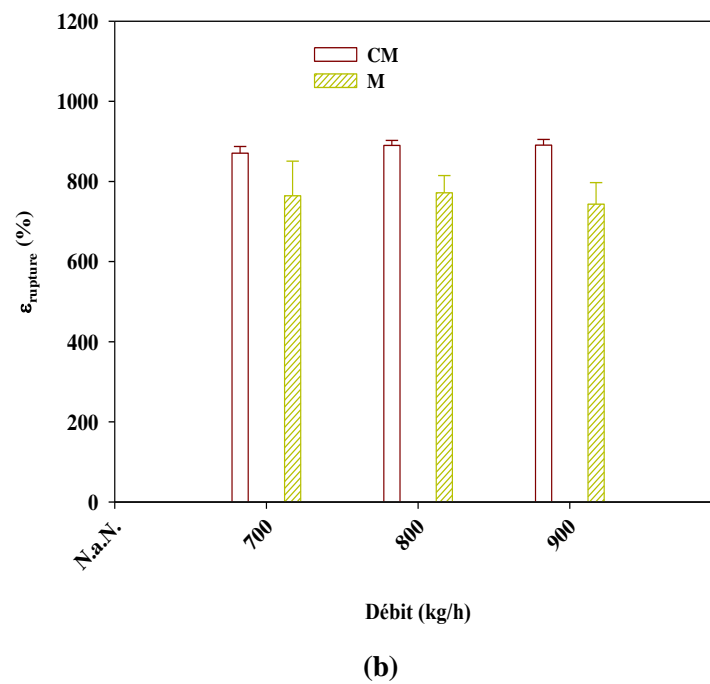
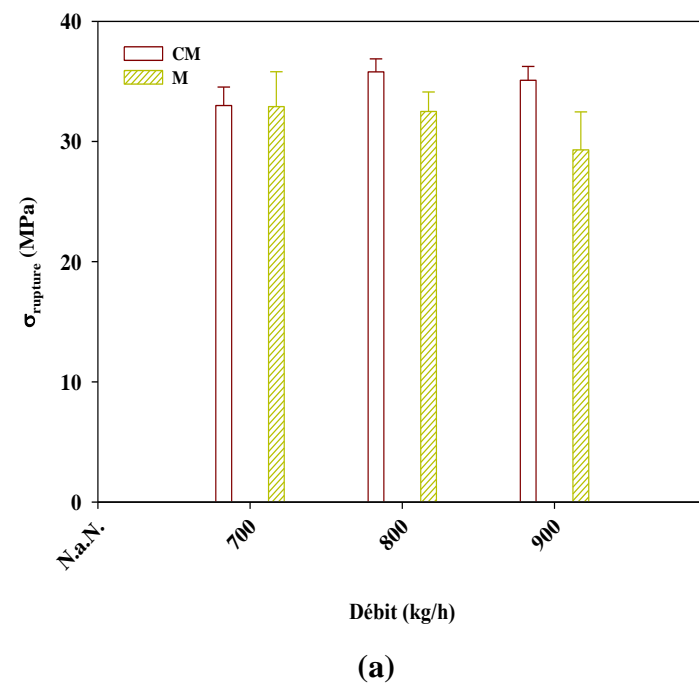


Figure IV.2: Evolution de la: (a)- Contrainte et (b)- Allongement à la rupture, de la géomembrane, suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du débit.

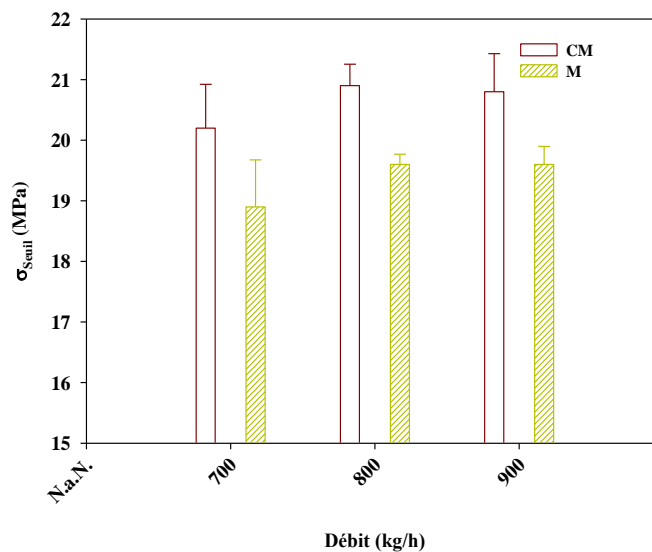
c- Sur la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement

La **Figure IV.3-a et b** représentent les valeurs de la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement, en fonction du débit, suivant les deux sens (transversal et longitudinal).

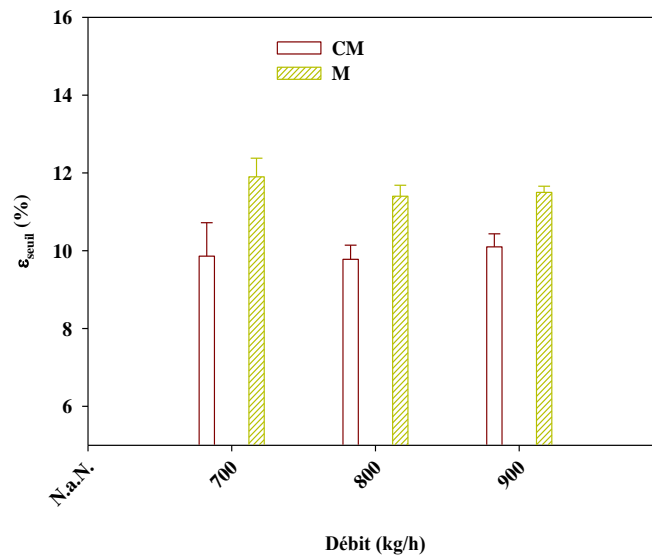
A partir du résultat de la figure **IV.3-a**, d'une part, la contrainte enregistre un accroissement de ces valeurs, avec l'augmentation du débit suivant les deux sens étudiés. D'autre part, on peut constater une dispersion dans la valeur de la contrainte au seuil d'écoulement (écart type important) lorsque le débit choisi est autre que 800kg/h, en particulier, suivant le sens transversal. Cette dispersion montre que la contrainte à la rupture n'est pas homogène le long de largeur de la géomembrane fabriquée.

L'augmentation de la contrainte au seuil d'écoulement lors de l'augmentation du débit peut être attribuée à un changement dans l'orientation des chaînes pendant la formation des cristaux. Pour faire augmenter le débit, il faut tirer la géomembrane par les cylindres et les rouleaux avec des vitesses plus importantes. L'augmentation de ces vitesses, même si le rapport de la prise est constant pour éliminer son effet, a affecté, probablement, l'orientation des chaînes et leurs cristallisations [2-3-4].

Sur la figure **IV.3-b**, la déformation au seuil d'écoulement, présente une faible variation avec le débit, suivant les deux sens avec une dispersion importante de l'écart type pour un faible débit de 700 kg/h.



(a)



(b)

Figure IV.3 : Evolution de la contrainte et l'allongement ou seuil d'écoulement en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction du débit.

IV.1.2 Evaluation de la Force de Poinçonnement

La **Figure IV.4** donne les valeurs de la force maximale de poinçonnement PIN, des diverses géomembrane étudiées, en fonction du débit.

Les résultats de la **figure IV.4** montrent une valeur de la force maximale de poinçonnement d'environ 388 N/mm pour un débit de 700kg/h. Cette valeur augmente de 4 et 1.5 % lorsque le débit est, respectivement, de 800 et 900 kg/h. Cette augmentation indique une meilleure résistance au poinçonnement pour une géomembrane fabriqué avec un débit de 800 kg/h.

On note, également, qu'à 800kg/h, l'écart type enregistré sur les valeurs du poinçonnement est un peu élevé. Ce qui indique une importante dispersion dans les échantillons choisis, le long de la largeur de la géomembrane.

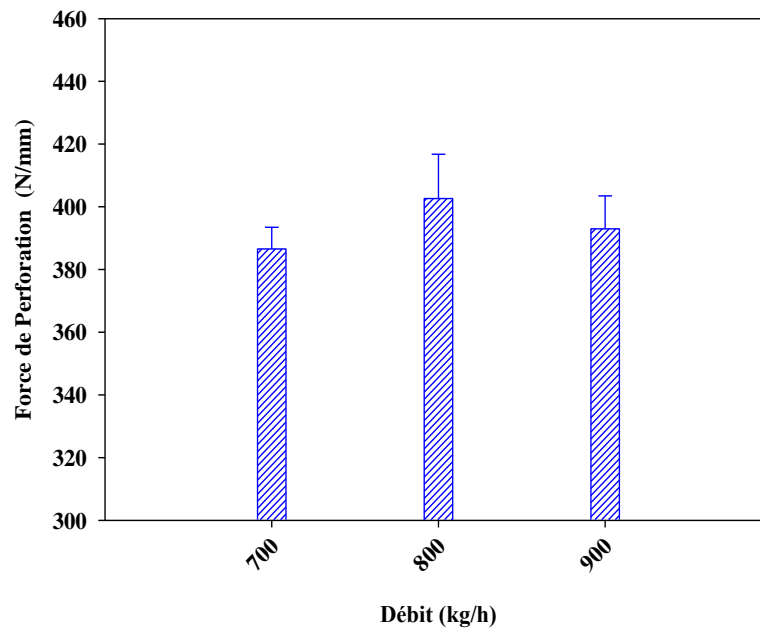


Figure IV. 4 : Estimation du PIN en fonction du débit.

IV.1.3.Evaluation de la Dureté Shore D

La **figure IV.5** montre les valeurs de la dureté Shore D en fonction du débit. D'après la figure, l'augmentation du débit fait varier les valeurs de la dureté shore D. En effet, celle-ci diminue pour les débits importants (800, 900 kg/h). Cette diminution peut être en relation avec le changement du taux de cristallinité dans la géomembrane [5].

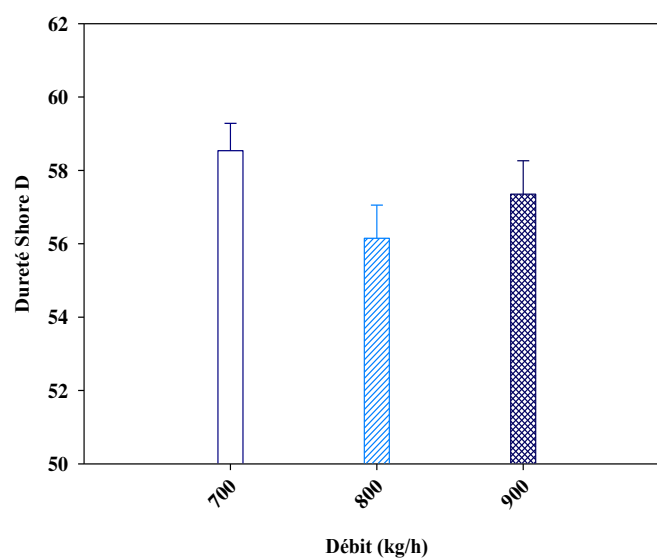


Figure IV. 5: Estimation de la dureté en fonction de débit.

IV.2. Effet des températures des cylindres

IV.2.2. Evaluation des propriétés mécaniques en traction

a- Module élastique

La **figure IV.6** présente l'évolution du module d'Young des géomembranes en fonction des températures des cylindres suivant les deux sens (CM/MD).

Pour le cylindre 1, les résultats de la **Figure IV.6** montrent une augmentation des valeurs du module d'Young suivie d'une diminution, suivant les deux sens étudiés. Pour illustration, la valeur a doublé lorsque la température a augmenté de 10°C, et lorsqu'elle augmente de 20°C, le module revient à sa valeur initiale.

Par contre pour le cylindre «2», l'augmentation de la température de 100 jusqu'à 113 °C fait diminuer les valeurs du module de 35 % pour les deux sens.

Le troisième cylindre montre deux évolutions différentes suivant les sens étudiés. Pour le sens machinal, l'évolution est identique à celle du cylindre 1. Alors que le sens contre machinal montre une diminution de la valeur du module de 802 à 750 puis à 443 MPa.

La variation des valeurs du module implique un changement de la rigidité des géomembrane, avec la variation des températures des cylindres [6-7].

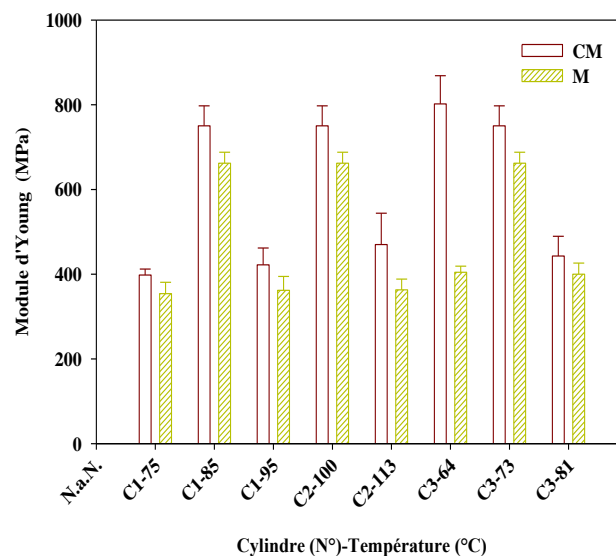


Figure IV.6: Evolution du Module d'Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction des températures des cylindres.

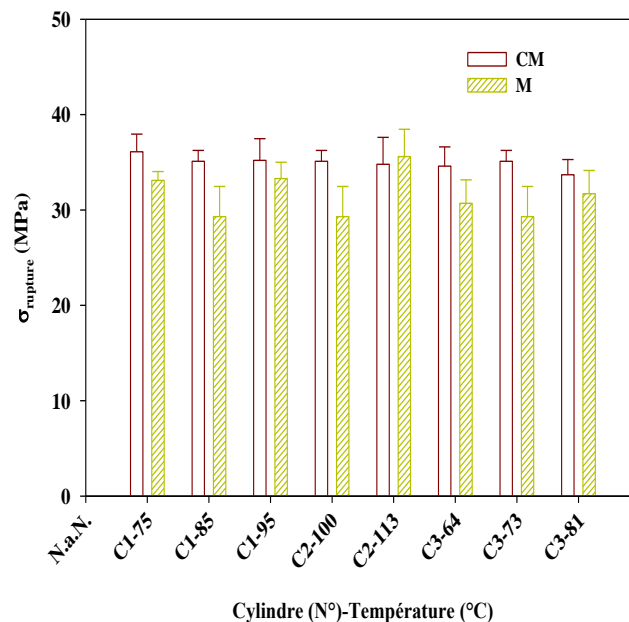
b- Évaluation de la contrainte et l'allongement à la rupture

Les **Figures IV.7-a et b**, donnent les valeurs, respectivement, de la contrainte à la rupture et de son allongement, en fonction des températures des cylindres.

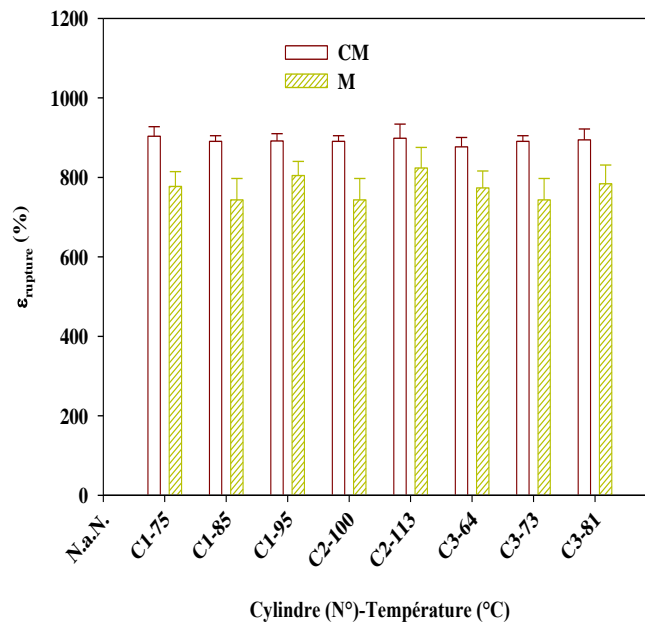
D'après les résultats des figures, on observe que la contrainte et l'allongement à la rupture suivant les deux sens montre une même allure, suivant les deux sens, pour les cylindres 1 et 3. Pour ces propriétés suivant le sens contre machinal, pas d'évolution enregistrée, alors que suivant le sens machinal, ces propriétés diminuent avec l'augmentation des températures des cylindres puis augmentent à nouveau.

Par contre, suivant le sens longitudinal, la contrainte et l'allongement à la rupture montre une augmentation après augmentation de température du cylindre 2 de 113 °C et se stabilise suivant l'autre sens.

Cette variation montre un effet de la température des trois cylindres sur la résistance des géomembranes suivant le sens machinal que le sens contre machinal. Cela peut s'expliquer par les différences dans l'orientation favorable de la cristallisation durant le refroidissement des GMs.



(a)



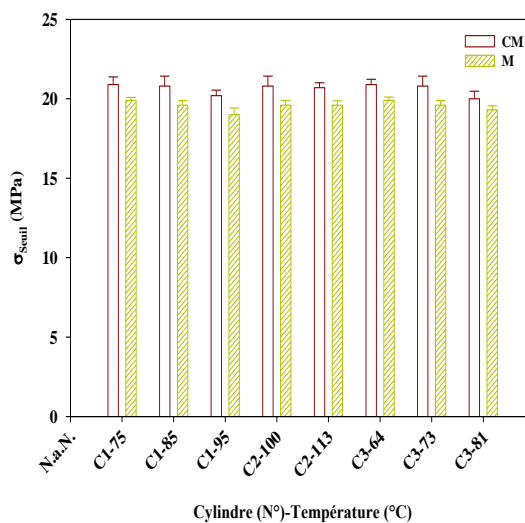
(b)

Figure IV.7 : Evolution de la contrainte et l’allongement a la rupture de traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de températures des cylindres.

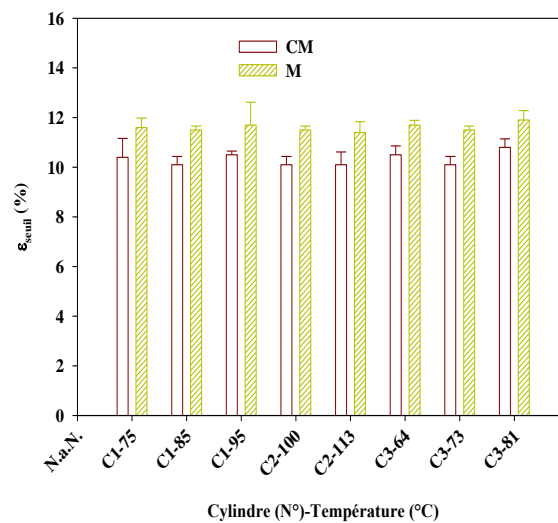
c- Évaluation de la contrainte et l’allongement au seuil d’écoulements

La Figure IV.8-a et b présentes l’évolution de la contrainte et l’allongement au seuil d’écoulement, en fonction des températures des cylindres.

D’après ces figures, aucun effet significatif n’est observé sur la contrainte et l’allongement, suivant les deux sens, avec la variation des températures des cylindres.



(a)



(b)

Figure IV.8 : Evolution de la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement de traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de températures des cylindres.

IV.2.2 .Evaluation de force en poinçonnement

La **Figure IV.9** donne l'évolution de la force de poinçonnement, en fonction des températures des cylindres.

On remarque que la force de perforation enregistrée lors de la variation des températures du cylindre 1augmentelégèrement, dans la limite des erreurs commises. Avec une dispersion de cette force un peu plus importante à température de 95°C.

Par contre pour les cylindres « 2 » et «3 », cette force a tendance à diminuer avec l'augmentation de la température. Cependant, la dispersion des valeurs devient plus en plus importante, pour les températures les plus élevés dans chaque cylindre.

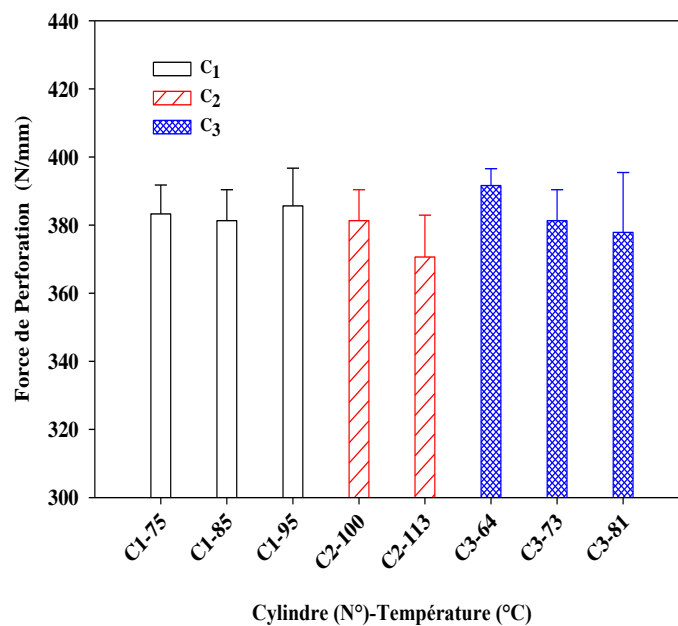


Figure IV. 9: Estimation du Poinçonnement en fonction de température du cylindre.

IV.2.2 .dureté

La **Figure IV.10** donne les valeurs de la dureté en fonction des températures des cylindres.

D'après les résultats de la **Figure IV.10**, on constate une évolution de la dureté avec l'augmentation de la température du cylindre « 3 ». Par exemple, pour 64 °C, elle été de 55.7, cette valeur augmente de plus de 5 % avec l'augmentation de la température du cylindre à « 81 C° ».

Toutefois, pour le cylindre 2, la valeur de la dureté diminue avec l'augmentation de la température du cylindre 2, de 100 à 113°C. Alors que pour le cylindre « 1 », la variation de la dureté avec sa température est moins importante que les deux précédents.

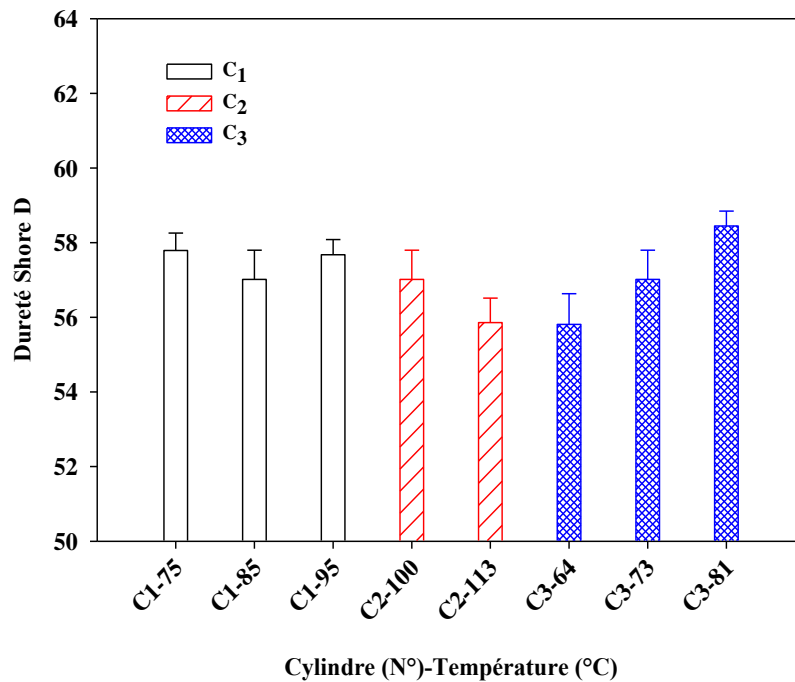


Figure IV.10 : Estimation de la dureté on fonction de température des cylindre.

IV.3.Effet de vitesse de tirage

IV.3.1.Propriétés mécaniques en traction

a-Evolution du Module élastique

La **Figure IV.11**représente l'évolution du Module d'Young on fonction de la vitesse de tirage.

Suivant le sens machinal, les résultats de la figure IV.11 ont montré une augmentation de la valeur du module d'Young de 44 % avec l'augmentation de la vitesse de tirage de $V_1=1.895$ m/min à $V_2=2.216$ m/min, et de 6 % à son augmentation à $V_3=2.667$ m/min.

Suivant le sens contre machinal, l'allure semble être la même que précédente sauf que l'augmentation du module avec l'augmentation de la vitesse est plus prononcé suivant le sens machinal que ce sens.

On sait bien que l'évolution du module d'Young implique une augmentation de la rigidité du matériau. Cette rigidité est liée à la cristallinité des matériaux, et aussi aux forces de cohésion maintenant les chaines macromoléculaires [8].

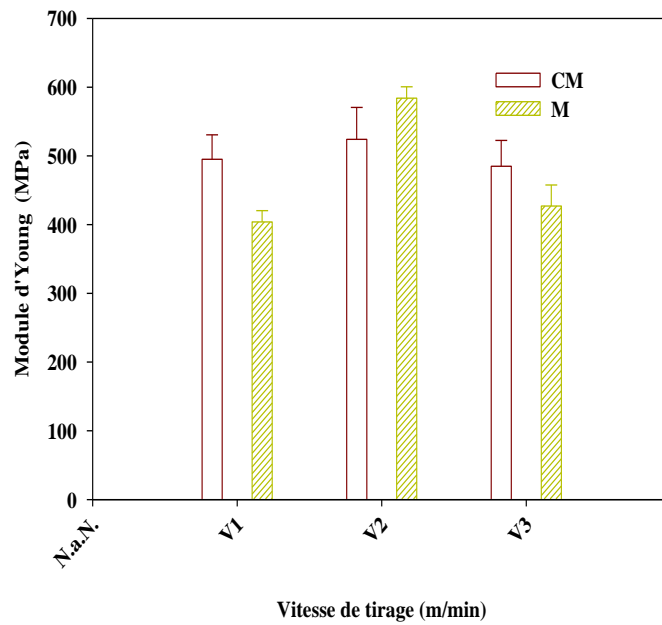
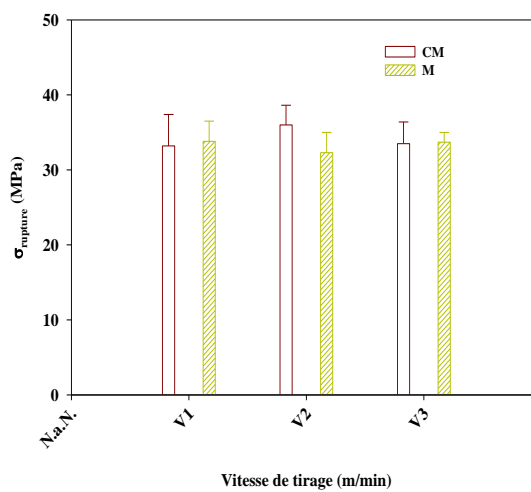


Figure IV.11. Evolution du Module d'Young en traction de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de vitesse de tirage

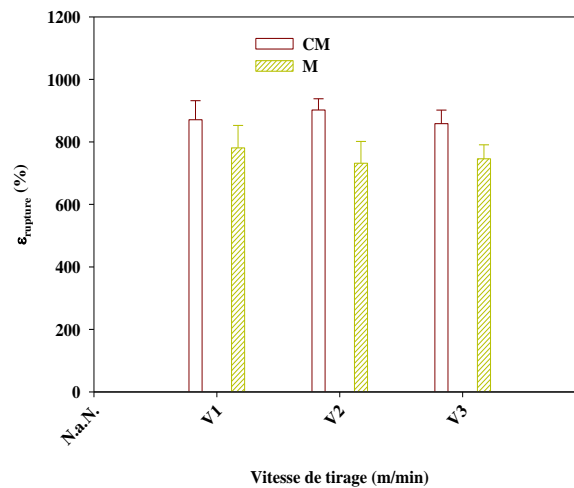
b. Évaluation de la contrainte et l'allongement à la rupture

La **Figure IV.12-a** et **b** : Présente l'évolution de la contrainte et l'allongement a la rupture de la traction en fonction de vitesse de tirage

On remarque suivant les deux sens que la contrainte et l'allongement varient légèrement.



(a)



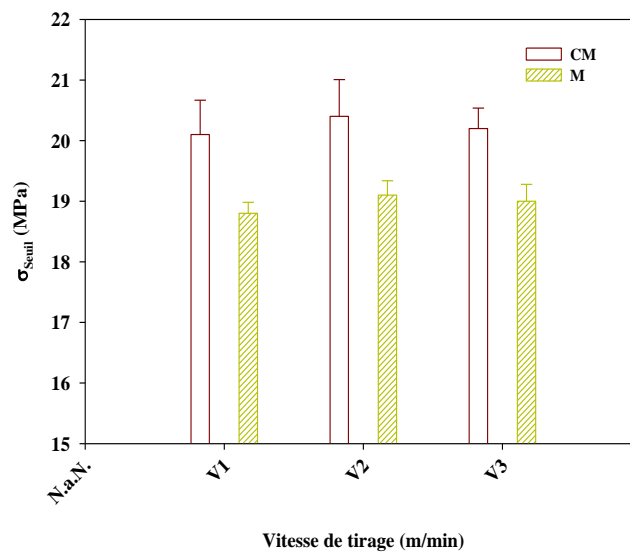
(b)

Figure IV.12-a et b. Evolution de la contrainte et l’allongement à la rupture de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de vitesse de tirage.

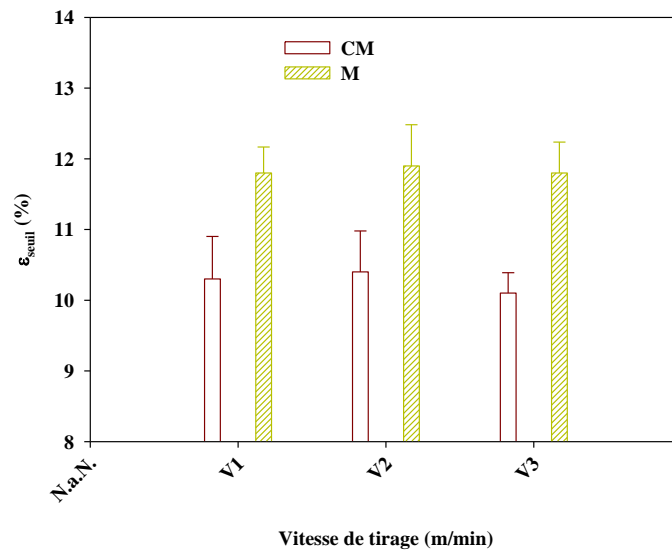
C- Évaluation de la contrainte et l’allongement au seuil d’écoulement

La **Figure IV.13-a et b** Présente les valeurs de contrainte et l’allongement au seuil d’écoulement en fonction de vitesse de tirage

On remarque que le résultat de la contrainte et l’allongement sans varient légèrement suivant les deux sens.



(a)



(b)

Figure IV.13-a et b Evolution de contrainte et l’allongement au seuil d’écoulement de la géomembrane pris suivant les deux sens transversal et longitudinal, en fonction de vitesse de tirage.

IV.3.2 .Evaluation de force en poinçonnement

La **Figure IV.14** présente l’estimation de force de perforation en fonction de la vitesse du tirage. On remarque que la force de perforation varie légèrement avec la vitesse du tirage. Cependant, elle affecte considérablement l’homogénéité des résultats, le long de la longueur de la géomembrane, pour de faible vitesse de tirage.

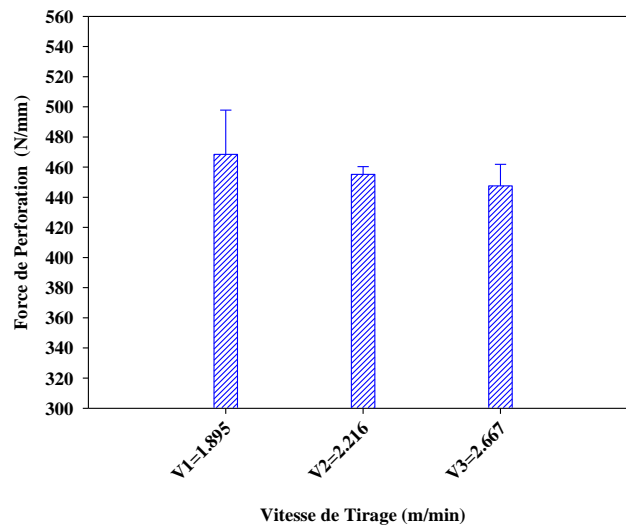


Figure IV. 14:Estimation du Poinçonnement en fonction de vitesse de tirage.

IV.3.3. Evaluation de la dureté shore D

La **Figure IV.15**.Présente la valeur de la dureté en fonction de vitesse de tirage. Ces résultats ne montrent, pratiquement, aucune variation de la dureté shore D avec la vitesse de tirage.

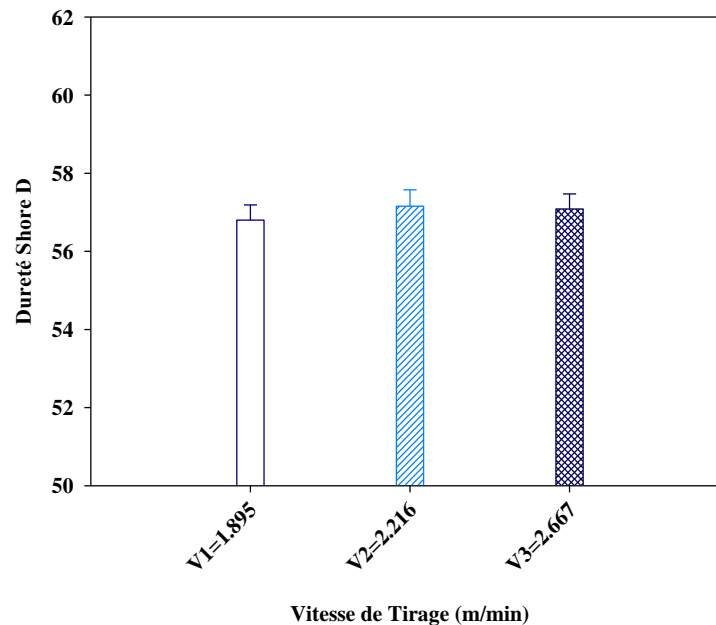


Figure IV.15 : Estimation de la dureté.

IV.4.Effet d'épaisseurs

IV.4.1.Propriétés mécaniques en traction

a-Evolution du Module élastique

La **Figure IV.16**, montre l'évolution du module d'Young en fonction de l'épaisseur de géomembrane produite.

D'après ces résultats, on constate d'une part, que les valeurs du module d'Young varient avec la variation de l'épaisseur de la géomembrane produite.

D'autre part, il existe une différence dans l'évolution de ces valeurs, suivant le sens transversal ou le sens longitudinal.

En effet, suivant le sens machinal, les valeurs du module d'Young diminuent avec l'augmentation de l'épaisseur. Par contre suivant le sens contre machinal, la valeur du module augmente puis redescend pour une épaisseur plus importante.

En fait suivant le sens machinal, lorsqu'on augmente l'épaisseur, le rapport de prise (vitesse du tirage des cylindres et des rouleaux) est moins important que celui choisi pour avoir une épaisseur faible. En d'autre terme, la vitesse du tirage des cylindres doit être plus importante pour les géomembrane à faibles épaisseurs que pour celles plus épaisses. Lorsque celle-ci augmente, ceci implique une orientation des lamelles des cristaux formés, dans une direction préférentielle. D'après Ewais et al [9], la croissance des lamelles est latérale. Elle se fait perpendiculairement à la direction machinale. Le nombre de chaînes formants les lamelles, parallèlement à la direction machinale, est important, et les liaisons secondes le sont également. Alors que si j'augmente l'épaisseur de la géomembrane, la vitesse du tirage doit être diminuée. Dans ce cas, ont montré que l'accroissement des lamelles se fait radialement et les chaînes forment un certain angle avec la normal de la lamelle [8].

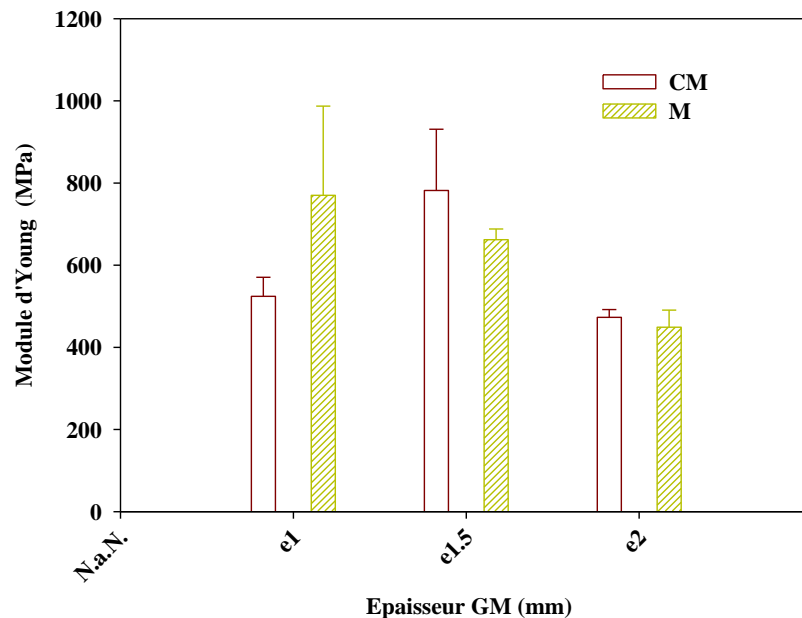


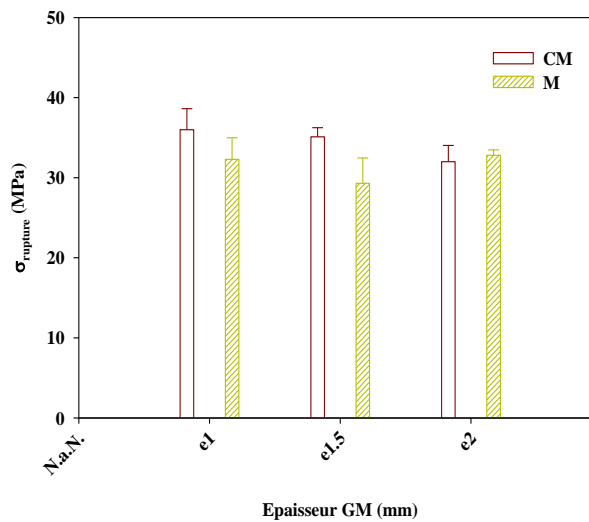
Figure IV.16 : Évolution de Module de Young en fonction de l'épaisseur.

b- Évaluation de la contrainte et l'allongement à la rupture

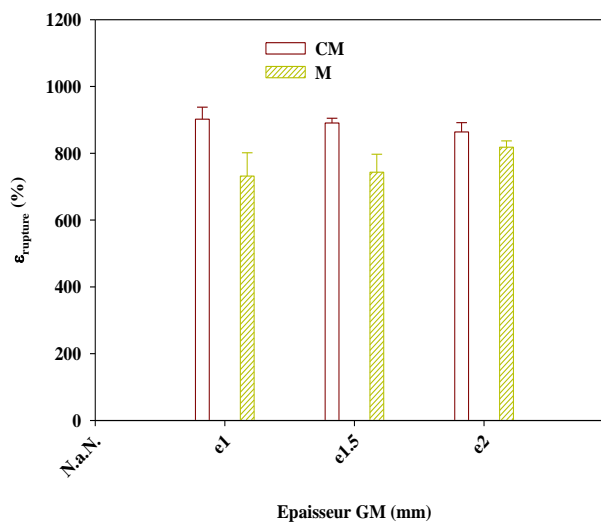
La **Figure IV.17-a** et **b** présentes l'évaluation de la contrainte et l'allongement a la rupture en fonction de l'épaisseur.

On remarque que la valeur de contrainte et l'allongement dans le sens contre machinal plus que le sens machinal.

On conclue que La différence est attribuée à l'augmentation des taux de cristallisation parce qu'ils ont subi des contraintes plus élevées dans le sens contre machinal en raison du tirage plus rapidement de la matrice d'extrusion.



(a)



(b)

Figure IV.17 : Evolution de la contrainte et l'allongement a la rupture en fonction de l'épaisseur.

C- Evaluation de la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement

La **Figure IV.18 –a et b** présente l'évaluation de la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement.

On remarque que les valeurs de la contrainte et de l'allongement sont, pratiquement, les mêmes, pour les géomembranes à diverses épaisseurs.

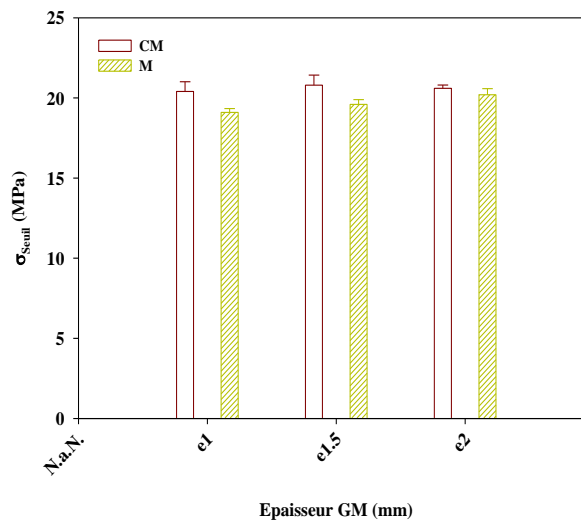
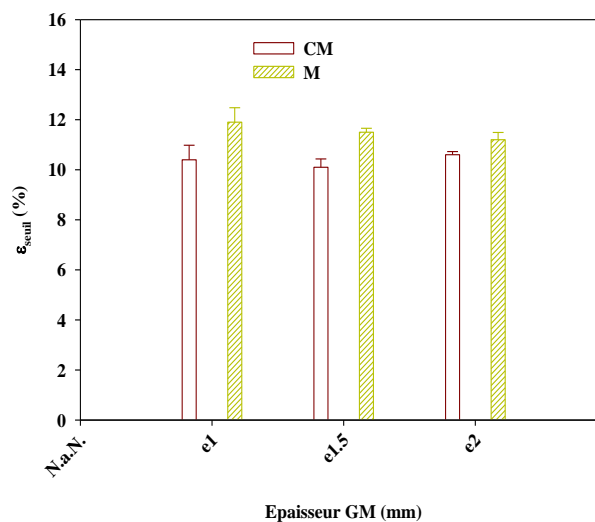
**(a)****(b)**

Figure IV .18 : Evolution de la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement en fonction de l'épaisseur.

IV.4.2 .Evaluation de force en poinçonnement

La **figure IV.19** présente l'estimation de force de PIN en fonction de l'épaisseur.

D'après le résultat on remarque que la force diminue avec l'augmentation de l'épaisseur. En effet, lorsqu'on augmente l'épaisseur, la quantité de masse par unité de surface de la géomembrane est augmentée. Ceci implique une augmentation du noir de carbone par unité de masse. Donc les contraintes internes créées par les particules de noir de carbone sont d'autant plus importante dans ce cas. Ceci peut engendrer un stress plus important à l'application du poinçon, lors du test. De ce fait, une initiation plus facile de la rupture de la géomembrane se fait à des forces moindres.

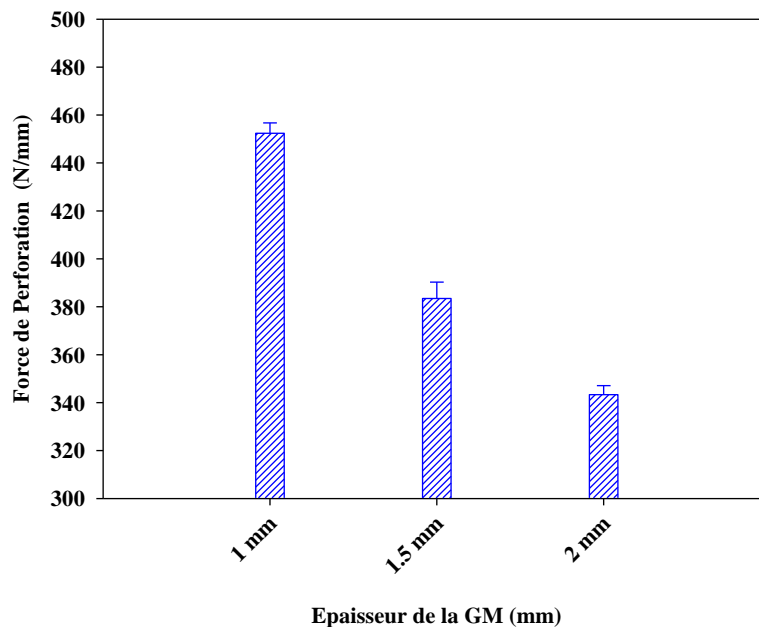


Figure IV.19 : Estimation de PIN en fonction de l'épaisseur.

IV.4.3. Evaluation de la Dureté Shore D

La **Figure IV.20** présente l'estimation de dureté en fonction de l'épaisseur. On remarque que la valeur de dureté varie légèrement en fonction de l'épaisseur. Cette variation ne montre pas une tendance claire. Cette variation peut être due aux différents états de dispersion du noir de carbone à l'intérieur de la géomembrane, pour les diverses épaisseurs.

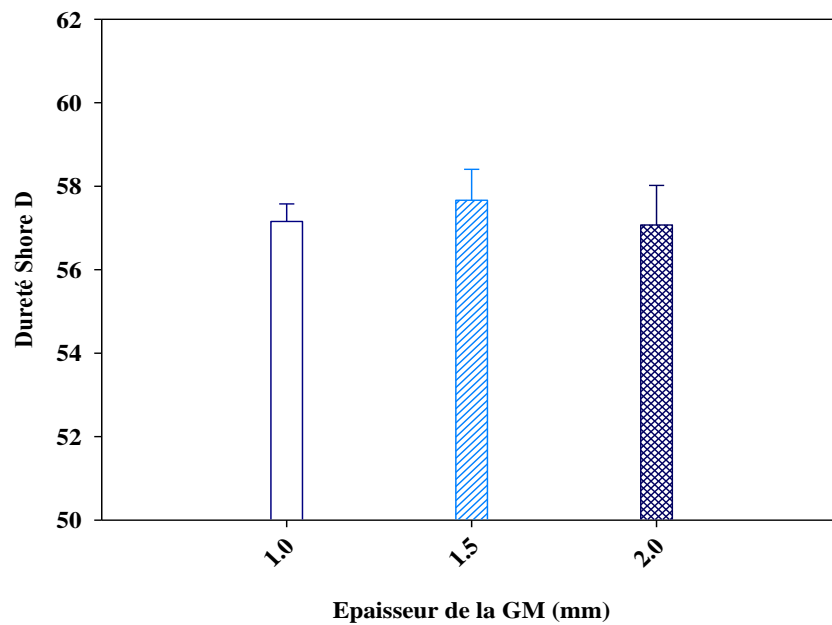


Figure IV.20 : Estimation de la dureté en fonction de l'épaisseur.

IV.5.Effet de position de filière

IV.5.1.Propriétés mécaniques en traction

a-Evolution du Module élastique

La Figure IV.21 montre l'évolution du module d'Young en fonction de position de filière de géomembrane produite.

En remarque que les valeurs du Module d'Young suivant le sens machinal, diminuent avec la variation de la position de la filière (D=6.2 et 8.2 cm). Par contre, suivant le sens contre machinal, aucun changement n'est observé.

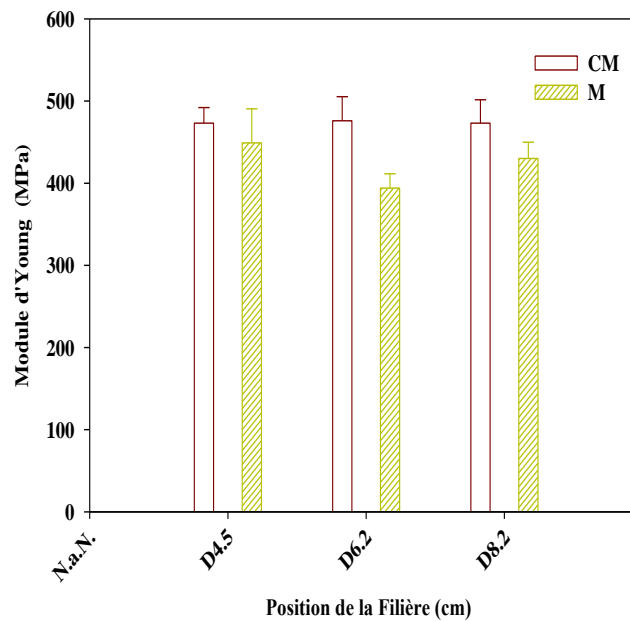


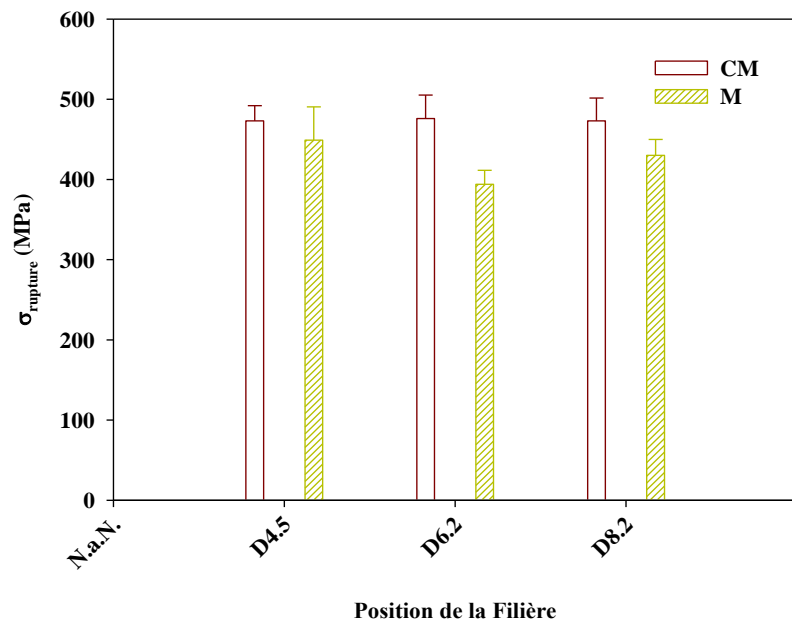
Figure IV.21; Évolution de module de Young en fonction de la position de filière.

b-Evolution de la contrant et l'allongement a la rupture

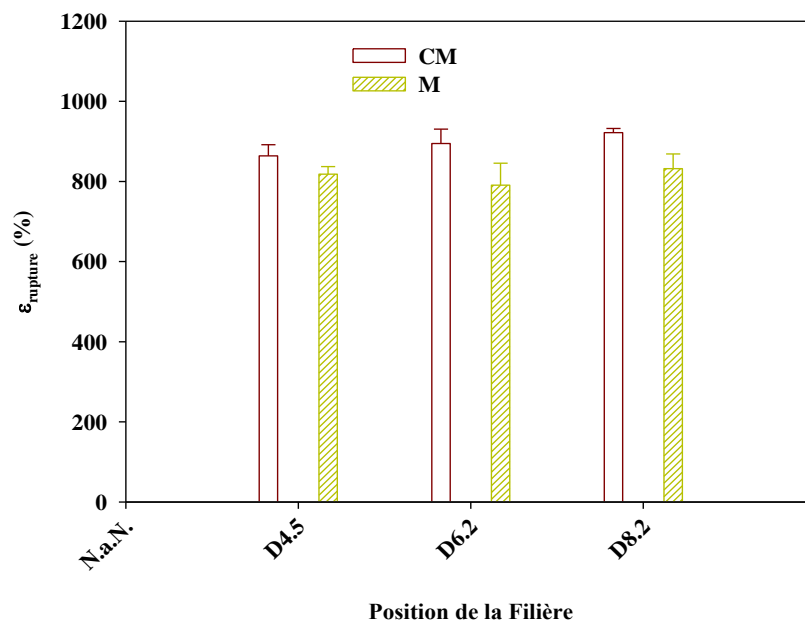
La **Figure IV.22-a et b** Montre l'évolution de la contrainte et l'allongement a la rupture en fonction de la position de filière de géomembrane produite.

Ces résultats montrent la même évolution, pour la contrainte et l'allongement à la rupture, que celle observé sur le module d'Young.

La variation du module ainsi que des propriétés à la rupture implique une variation de la cristallinité des géomembrane avec l'éloignement de la filière du cylindre (3). Ceci, peut être en relation avec le refroidissement initial de la géomembrane à sa sortie de la filière. En effet, celui-ci se fait avec l'air intermédiaire compris entre la filière et le cylindre et dont la température est différente (plus faible) de celle du cylindre (3). Lorsque la position est éloignée (6.2 cm), la géomembrane va parcourir une distance importante à cette température. Ceci affectera la vitesse de formation des nucléons, l'orientation des lamelles formées ainsi que leur épaisseur. C'est ceci qui va se répercuter sur les valeurs enregistrées de la rigidité et de la résistance à la rupture.



(a)

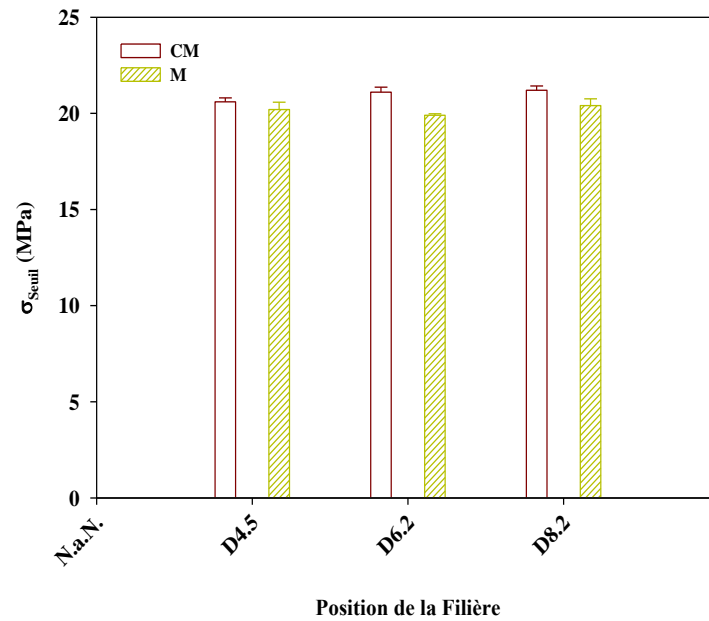


(b)

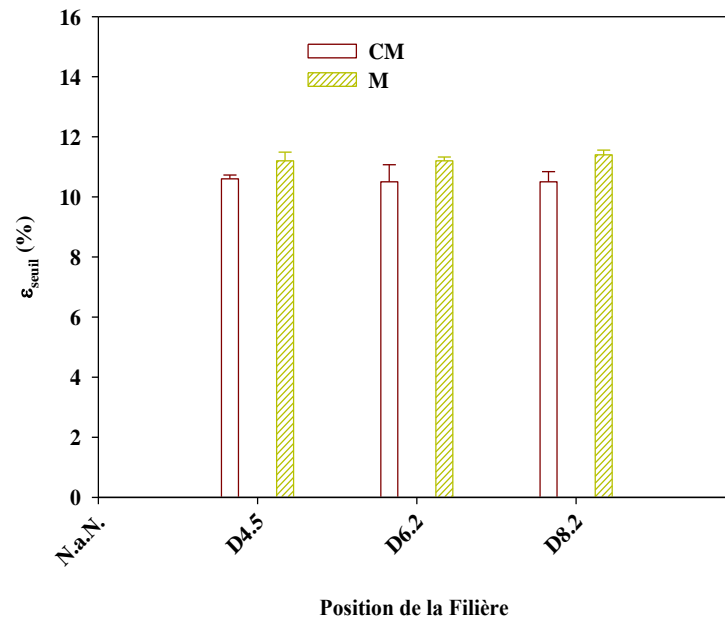
Figure IV.22 .a-b : Evolution de la contrainte et l'allongement a la rupture en fonction de la position de filière.

C- Evaluation de la contrant et l'allongement au seuil d'écoulement

La **Figure 23-a** et **b** montre l'évolution de la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement en fonction de la position de filière de géomembrane produite. Aucun changement n'est observé dans ce cas, également.



(a)



(b)

Figure IV.23 –a et b : Evolution de la contrainte et l'allongement au seuil d'écoulement en fonction de la position de filière.

IV.5.2. Evaluation de Force en poinçonnement

La **Figure IV.24** présente l'estimation de PIN en fonction de la position de la filière.

A partir de cette figure, la moyenne des valeurs du poinçonnement est pratiquement constante, avec le changement de la position de la filière. Cependant, l'écart type enregistré pour des positions plus éloigné de la filière, devient important, lorsque la filière est éloignée du cylindre 3.

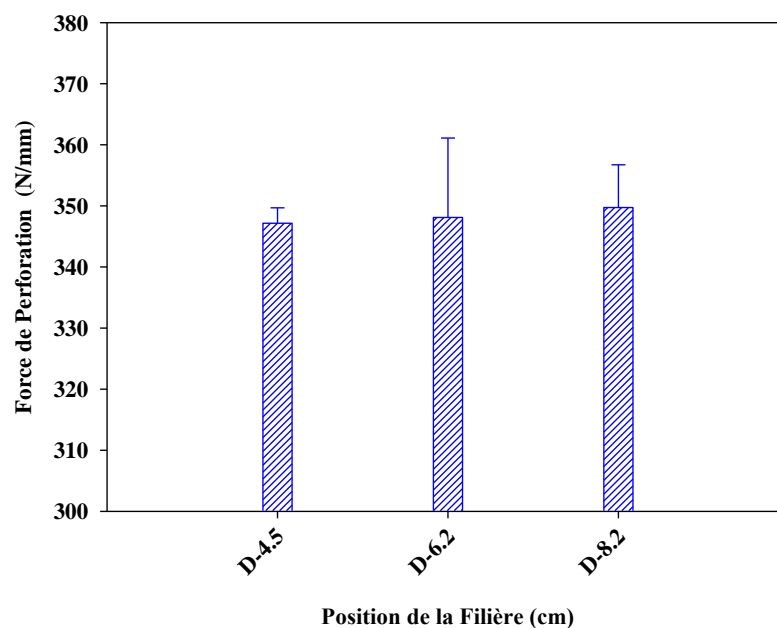


Figure IV.24 : Estimation de PIN en fonction de la position de filière.

IV.5.3. Evaluation de la dureté shore D

La **Figure IV.25** présente L'estimation de la dureté en fonction de position de filière.

Une légère augmentation de la dureté est observée avec l'éloignement de la filière du cylindre. Ceci peut être dû à la variation de la cristallinité de la géomembrane.

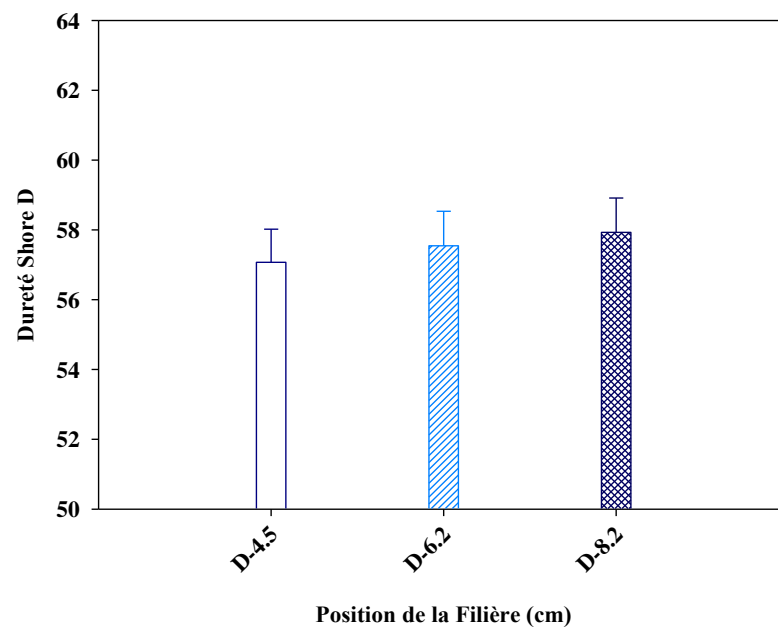


Figure IV.25 : Estimation de la dureté en fonction de la position filière.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans cette étude nous avons évalué l'effet de plusieurs paramètres de la ligne d'extrusion cast, à savoir le débit, les températures du cylindre, l'épaisseur, vitesse de tirage et la position de la filière, sur les propriétés mécaniques en traction, sur la résistance à la perforation et la dureté de la géomembrane polyéthylène.

Les conclusions tirées à partir de ces résultats sont les suivantes :

- Les cinq paramètres étudiés affectent les propriétés de la géomembrane mais différemment.
- L'augmentation du débit fait accroître la rigidité de la géomembrane, suivant les deux sens, par contre montre un seuil max pour la résistance à la perforation et un seuil minimal pour la dureté.
- Les températures des cylindres influencent, considérablement, sur le module d'Young, la contrainte et l'allongement à la rupture (sens machinal), la force de perforation et la dureté.
- La vitesse de tirage ainsi que la position de la filière affectent le module d'Young donc la rigidité de la géomembrane.
- L'épaisseur des géomembranes affecte le module d'Young ainsi que la perforation.

Ces effets peuvent être dus à plusieurs raisons, notamment :

- La variation de la cristallinité,
- L'orientation des chaînes ;
- L'orientation de la croissance des lamelles cristallines;
- Les forces de cohésions inter et intra moléculaires affectant la rigidité;
- La dispersion du noir de carbone;
- Probablement aussi la taille des lamelles et la densité de nucléation.

En guise de perspective, pour une meilleure compréhension des phénomènes survenant lors de la variation de ces paramètres, il sera intéressant d'approfondir l'étude vers :

- L'évaluation du comportement thermique par DSC,
- L'évaluation de la morphologie cristalline.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. SCHEIRS; «A Guide to Polymeric Geomembranes: A Practical Approach, Wiley, Hoboken» , NJ, USA,2009.
- [2] H. D .Keith, & F. J Padden.; «The optical behavior of spherulites in crystalline polymers 1», 1959a.
- [3] Keith, H. D. &Padden, F. J. ; «The optical behavior of spherulites in crystalline polymers 2»,1959b.
- [4] A. Keller ; « Investigations on banded spherulites. Journal of Polymer Science» , 1959.
- [5] Y. CHATANI, H. MA RUYAMA, T. ASANUMA AND T. SHIOMURA; «Structure of a new crystalline phase of syndiotactic polypropylene. J Polym Sci Polym Phys», 1991.
- [6] M.Z.ISLAM , G. BETH, K.R. RONALD; «Dégradation des géomembranes LLDPE et HDPE exposées : une revue. Géo-Front. Congr » , 2011.
- [7] F.L. LAVOIE,C.A. VALENTIN ,M.KOBELNIK,J .LINS DA SILVA, , M.D.L.LOPES ; «Paramètres de Lopes Géomembranes HDPE pour la protection de l'environnement : deux cas. Durabilité » , 2020.
- [8] H.HENNING KAUSCH ET N.HEYMANS ET C.JOHN PLUMMER ET P.DECROLY; université romande; «Matériaux polymers: propriétés mécaniques et physiques » ,2001.
- [9] H. D KEITH, F. J. PADEN& JR VADIMSKY; «Further studies of inter crystalline links in polyethylene. Journal of Applied Physics » ,1966.

Résumé :

L'industrie des géomembranes a connu un grand développement ces dernières années afin de répondre aux besoins des marchés. Les géomembrane PE est utilisée pour assurer l'étanchéité des différents ouvrages de génie civil. Ces géomembranes sont constituées de matières premières et d'autres additifs. La différence de ces matrices affecte les propriétés des géomembrane à des degrés divers. Pour cela, nous avons fait de nombreux tests en changeant plusieurs paramètres afin de savoir comment cela affecte le module d'Young, la contrainte de traction et la performance et la dureté, et les résultats selon les normes internationales et ceci pour obtenir un bon produit qui peut être utilisé pour protéger l'environnement.

Mots clés:

Géomembrane, module d'Young ,polyéthylène .

ملخص:

شهدت صناعة أغشية التبطين تطورًا كبيرًا في السنوات الأخيرة لتلبية احتياجات السوق. يتم استخدام أغشية التبطين PE لختام أعمال الهندسة المدنية المختلفة. تتكون هذه الأغشية الأرضية من مواد خام ومواد مضافة أخرى. يؤثر اختلاف هذه المصفوفات على خصائص الأغشية الأرضية بدرجات متفاوتة. لهذا، أجرينا العديد من الاختبارات من خلال تغيير العديد من المعلمات لمعرفة كيفية تأثيرها على معامل يونغ، وإجهاد الشد والأداء والصلابة، والنتائج وفق المعايير الدولية وذلك للحصول على منتج جيد يمكن استخدامه لحماية البيئة.

الكلمات الدالة:

غشاء أرضي ، معامل يونغ ، بولي إيثيلين.

Abstract:

The géomembrane industry has experienced great development in recent years to meet market needs. PE géomembranes are used to seal various civil engineering structures. These géomembranes are made up of raw materials and other additives. The difference of these matrices affects the properties of géomembranes to varying degrees. For this, we have done many tests by changing several parameters in order to know how it affects the Young's modulus, the tensile stress and the performance, and hardness and results according to international standards and this to obtain a good product that can be used to protect the environment.

Key words:

Géomembrane, Young's modulus, polyethylene.

