



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Ibn-Khaldoun- Tiaret
Faculté des Sciences de la Matière- Tiaret

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} Cycle (L.M.D)

Spécialité : Physique

Option : Génie des Matériaux

Présentée et soutenue publiquement par

M. AOUINET Mechri

Intitulé du sujet :

**ETUDE DE LA DEGRADATION D'UN POLYMERE À BASE DE PEbd DANS UNE
RÉGION ARIDE**

Soutenu le : 18/03/2019

Devant les membres du jury:

Président :	M. BENRABAH Bedhiaf	Professeur -	Université de Tiaret (Algérie)
Directeur de thèse :	M. DEHBI Abdelkader	Professeur -	Université de Tiaret (Algérie)
Examineur :	M. MAATOUG Mohamed	Professeur -	Université de Tiaret (Algérie)
Examineur :	M. YANALLAH Khelifa	Professeur -	Université de Tiaret (Algérie)
Examineur :	M. YAHIAOUI Ahmed	Professeur -	Université de Mascara (Algérie)
Examineur :	M. BENKOUIDER Ali Mustafa	Professeur -	Université de Mascara (Algérie)
Invité :	M. Pietro PICUNO	Professeur -	Université Basilicata (Italie)

Année Universitaire: 2018-2019

DEDICACES

À ma mère, mes enfants et leur maman

À mes frères et sœurs ainsi qu'à tous mes collègues et amis

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement tout particulièrement mon directeur de recherches, Professeur DEHBI Abdelkader pour avoir bien voulu diriger cette thèse ainsi que pour sa grande patience tout au long de ma recherche en me prodiguant des remarques et des conseils très enrichissants et pertinents qui m'ont été particulièrement précieux. Je ne peux que le remercier pour ses compétences scientifiques, mais aussi pour ses qualités humaines et pour la confiance qu'il m'a accordée durant la réalisation de ce travail.

Je remercie également le Dr K. DJAKHDANE pour son aide technique, scientifique et morale.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury: Mr Benrabah Bedhiaf, Mr Yanallah Khelifa et Mr Maatoug Mhamed de l'Université de Tairaret, Mr Yahiaoui Ahmed de l'Université de Mascara et Mr Benkouider Ali Mustfa de l'Université d'Oran, de m'avoir fait l'honneur de lire et d'évaluer le travail et ce en dépit de leurs innombrables occupations.

Je tiens à remercier et rendre hommage à mes professeurs pour leurs enseignements lesquels m'ont donné le goût de la rigueur scientifique et m'ont beaucoup aidé à rédiger, à structurer cette thèse et à améliorer son contenu.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à tout le personnel administratif de la faculté pour le soutien et l'aide qu'ils m'ont apportés et ce à tous les niveaux pour réaliser mon travail de recherche.

Sommaire

DEDICACES	2
REMERCIEMENTS	3
INTRODUCTION GENERALE.....	14
CHAPITRE I GENERALITES SUR LES POLYMERES	
Introduction	19
I.1-Les matières plastiques.....	19
I.1.1 Les caractéristiques des matières plastiques	20
I-1.2. Inconvénients d'utilisation des plastiques	20
I.2 : Les polymères	21
I.2.1. Définition de la notion de polymère	22
I.2.2- Les différents types de polymères	24
1.2.2.1 - Les thermoplastiques	24
a) Les thermoplastiques amorphes	24
b) Les thermoplastiques cristallins	25
1.2. 2.2 -Les thermodurcissables	25
1.2. 2.3 - Les élastomères	26
1.2. 2.4 - Les fibres.....	26
I.2.3. Structures des polymères	26
I.2.4. Propriétés des polymères	27
I.2.4.1. Propriétés chimiques	28
I.2.4. 2. . Propriétés physiques	29
I.2.4. 3. Propriétés mécaniques des polymères	29
I.3- Le Polyéthylènes :	29
1.3.1. Généralités sur les polyéthylènes	29
I.3.2. Classification des polyéthylènes	32
I.3.2.1 Les homopolymères.	32
I.3.2.2 Les copolymères.	33
I.4.2.La Polymérisation	33

Sommaire

I.4.2.2. La polymérisation en masse	34
I.4.2.2. La polymérisation en chaîne	35
I.4.2.3. La polymérisation par polyaddition	37
I.4.2.4. La polymérisation par Polycondensation	37
Conclusion :	38
Références Bibliographiques du chapitre I	39

CHAPITRE II : VIEILLISSEMENT DES POLYMERES

II.1 Définition de la notion de vieillissement	41
II.2.Mécanismes de vieillissement des polymères	42
II.2.1 Vieillissement thermique des polymères	42
II.2.2 Vieillissement photochimique des polymères	43
II.2.3 Vieillissement hydrolytique des polymères	43
II.3 Les types de vieillissements d'un polymère	44
II.3.1 Vieillissement physique	44
II.3.1.1. Vieillissement par transfert de masse	44
II.3.1.2. Phénomènes de transport	44
II.3.1.3. Vieillissement thermique	44
II.3.1.4. Vieillissement thermo-oxydant	45
II.3.1.5. Vieillissement mécanique	45
II.3. 2. Vieillissement chimique	45
II.3. 4 Vieillissement artificiel :	50
Références Bibliographiques du Chapitre II	51

CHAPITRE III CONDITIONS CLIMATIQUES-PLASTICULTURE-MATERIELS ET METHODES

III.1 Conditions climatiques	53
III.1.1. Introduction	53
III.1.2. Concept d'aridité	53
III.1.2.1. Définition	53
III.1.2.2. L'indice d'aridité	54

Sommaire

III.1.2. Climat en Algérie : types et caractéristiques	56
III.1.3. Climat à Tiaret.....	56
III.1.3. 1. Situation géographique de Tiaret	56
III.1.3.2. Caractéristiques climatiques à Tiaret :	56
III.1.3.2. Les précipitations à Tiaret	57
III.1.3.3. Les températures	58
III.1.3.4. L'humidité.....	58
III.1.3.5. Les vents.....	59
III.2 Plasticulture.....	59
III.2.1. Généralités.....	59
III.2.2. Les serres.....	60
III.2.2.1. Définition	60
III.2.2.2 Types de serres	61
A. La serre d'agrément	61
B. Les serres souterraines.....	61
C. La serre photovoltaïque	61
D. La serre-tunnel.....	61
III. 2.2.3. Fonctions des serres	62
III. 3 Matériels et Méthodes	63
III.3.1.Installation des serres	63
III.3.2. Les appareils de mesure :	64
III.3.3. Suivi des comportements des films:.....	68
III.3.3.1 Essais de fluage	69
III.3.3.2 - Essais de traction.....	71
III.3.3.3 - La spectroscopie UV-Visible	76
III.3.4- La spectroscopie Infra-rouge	77
Références Bibliographiques du Chapitre III.....	80

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Résultats des essais de traction	82
IV.1.1 Monocouches	82
IV.1.2. Tricouches.....	83

Sommaire

IV.1.3 Etude comparative des propriétés mécaniques en traction	85
IV.2 Résultats du fluage	87
IV.2.1 Déformation totales des matériaux.....	87
IV.2.2 Limite d'élasticité	89
IV.2.3 Vitesse de fluage	90
IV.2.4 Durée de vie des matériaux	91
IV.3 Résultats de l'analyse par UV-Visible	93
IV.4 Résultats de l'analyse par IR.....	95
Conclusion générale	93

Liste des abréviations:

CCN = Centre Climatologique National

ONM = Office National de Météorologie

NOAA = National Oceanic and Atmospheric Administration

UV = Ultraviolet

IR = Infra Rouge

PE = Polyéthylène

PEBD = Polyéthylène basse densité/ PEfd = Polyéthylène faible densité

PEHD = Polyéthylène haute densité

PEMD = Polyéthylène moyenne densité

PP = Polypropylène

PVC = Polychlorure de vinyle

PS = Polystyrène

PMMA = Poly-méthacrylate de méthyle

EVA = Éthylène Acétate de Vinyle

H₂O = Molécule d'eau

O₂ = Molécule de dioxygène

NO₂ = Dioxyde de nitrogène

SO₂ = Dioxyde de soufre

LiCl = Chlorure de lithium

CaCl₂ = Chlorure de calcium

GES = Les gaz à effet de serre

PH = Site oxydable du polyéthylène

P° = Radical acétyle

PO° = Radical alcoyle

POO° = Radical peroxyde

POOP = Peroxyde

POOH = Hydroperoxyde

σ_r = Contrainte à la rupture

g= gramme

mol= mole

s = Seconde

μm = Micromètre

Pa = Pascal

T_g = Température de transition vitreuse

T_f = Température de fusion

F = Force

E = Module d'élasticité

e = Module de Young

ε = Déformation totale

ε_0 = Déformation élastique instantanée

Liste des figures:

Titre de la figure	Page
CHAPITRE I	
Figure I.1: Formule chimique de l'identification d'un polyéthylène basse densité	30
Figure I.2: Formule d'une molécule d'éthylène	30
Figure I.3: Formule de la copolymérisation de l'Éthylène Acétate de Vinyle – EVA	30
Figure I.4: Formule du chlorure de poly-vinyle – PVC	30
Figure I. 5: Schéma d'une polymérisation radicalaire.	36
Figure I. 6: Schéma d'une polymérisation condensation.	37
CHAPITRE II	
Figure II.1:Schématisation de la pénétration d'un solvant à l'intérieur d'un système polymère	44
Figure. II.2: Le spectre solaire	46
Figure. II.3 : Energie solaire en fonction des longueurs d'ondes	46
CHAPITRE III	
Figure. III.1: Zone aride	55
Figure. III.2 : En plasticulture les films de serre sont utilisés en « chapelle » et grand tunnel.	62
Figure. III.3 : Installation d'une serre	64
Figure. III.4 : Centrale automatique de mesure de température et d'humidité.	64
Figure. III.5: Sonde thermoélectrique à résistance de platine	65
Figure. III.6: Psychromètre à ventilation forcée	66
Figure.III.7 : Abri météorologique équipé.	66
Figures III.8: Instruments de mesure de l'humidité et de la température	67
Figure III.9: Conditions climatiques de la région du Nord-Afrique entre Mai et Janvier (2016/2017)	68
Figure III.10: Energie globale	68
Figure.III.11 : Courbes de fluage	70
Figure III.12 : (a) Allure générale d'une courbe de fluage, Evolution de la déformation et (b) la vitesse de déformation en fonction du temps	71
Figure III.13: Instrument de mesure	72
Figure III.14: Echantillons de films monocouche et tricouche	73
Figure.III.15: Essai de fluage en traction	74
Figure. III.16: Formes géométriques des éprouvettes	74
Figure III.17: Essais de traction au temps initial	75

Figure III.18: Essais de traction au temps final	75
Figure.III.19: Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceaux de marque SHIMADZU (UV 1650 PC).	76
Figure.III.20 : Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceaux de marque SHIMADZU (UV 1650 PC).	77
Figure.III.21 : Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	78
Figure III.22: Echantillons du film monocouche	78
Figure III.23: Echantillons du film tricouches	79
CHAPITRE VI	
Figure IV.1: Courbes contrainte-déformation (monocouches)	82
Figure IV.2: Résultats des essais de traction	83
Figure IV.3: Courbes contrainte-déformation (tri couches)	83
Figure IV.4.: Module de Young (mono et tri couches)	85
Figure IV.5: Résistance à la traction	85
Figure IV.6: Limite d'élasticité	86
Figure IV.7: Allongement à la rupture	86
Figure IV.8: Déformation totale	88
Figure IV.9: Déformation totale pour monocouches	89
Figure IV.10: Déformation totale pour tricouches	89
Figure.IV. 11: Contraintes élastique et de rupture	90
Figure IV.12: Vitesse de fluage	91
Figure IV.13 Temps à la rupture (a) monocouche, (b) tricouche, (c) mono/tricouche	92
Figure IV.14: Résultats mensuels de transmittance (mono-tricouches)	94
Figure IV.15 Transmittances des films monocouches	95
Figure IV.16: Transmittances des films tricouches	95
Figure IV.17: Spectes infrarouge par mois	100
Figure IV.18: Spectre infrarouge général (monocouches)	100
Figure IV.19: Spectre infrarouge général (tricouches)	100

Liste des tableaux:

Tableau I.1 Types des polyéthylènes	32
Tableau. II.1 : Principaux agents climatiques influençant le vieillissement naturel	45
Tableau.II.2: Propriétés des rayonnements UV-A, UV-B et UV-C	47
Tableau.II.3 : Seuil de longueur d'onde UV pour rupture de diverses liaisons	48
Tableau III. 1 : Source : Weatherbase, statistiques 2010-2016	58
Tableau. III.2: Les dimensions des éprouvettes normalisées	75
Tableau IV.1 : Résultats de : Limite d'élasticité, Résistance à la traction et allongement après rupture	82
Tableau IV.2 : Valeurs mensuelles de la limite d'élasticité et la résistance à la traction	84

Liste des annexes:

Annexe.1 : Les différents types de polymères et leurs caractéristiques

Annexe. 2 : Les données météorologiques de la région

Annexe. 3 : Publication internationale

INTRODUCTION GENERALE

La science des matériaux occupe, actuellement, dans le champ de la recherche, une place prépondérante. Elle s'intéresse à la mise en œuvre ainsi qu'aux propriétés des différents matériaux. En effet, le développement de nos sociétés actuelles a été tout le temps lié au développement des matériaux et au renouvellement des ressources énergétiques. Les deux derniers siècles ont été, incontestablement, ceux des polymères et du silicium. En effet, cette science étudie les matériaux adaptés à chaque nouvelle application et ce pour acquérir la maîtrise de leur comportement par la connaissance des lois fondamentales qui déterminent leurs propriétés. En outre, elle est pluridisciplinaire et est complétée par le génie des matériaux qui s'en occupe des procédés de fabrication.

Parmi les domaines explorés par la science des matériaux et qui constitue un champ important de recherche, nous citons celui de la science des polymères. En effet, ces matériaux constituant la principale composante des matières plastiques, et sont devenus des matériaux familiers qui sont utilisés dans plusieurs domaines : industrie, médecine, agriculture et autres. En tous les cas, ils sont destinés pour de très nombreuses applications.

Les matériaux polymères synthétiques fabriqués à partir de la pétrochimie ont envahi les marchés commerciaux. Ils sont utilisés dans de divers domaines et ce par rapport à leurs excellentes propriétés mécaniques et leurs avantages économiques. Cependant, leur exploitation abusive a engendré une véritable source de nuisance au niveau écologique, en particulier, la pollution de l'air, des sols et des eaux.

Les changements climatiques dus à l'émission des gaz à effet de serre liée aux activités humaines, industrielles, en particulier, constituent une préoccupation environnementale majeure pour tout le monde. Ce phénomène est accentué par le réchauffement climatique croissant, ce qui a contraint les gens au développement des énergies renouvelables qui, aujourd'hui, font l'objet d'un essor considérable et cela dans tous les domaines.

Dans la famille des polymères industriels, on peut distinguer les thermoplastiques de masse qui englobent les polyoléfinés tels que le polyéthylène (PE) et le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et le polystyrène (PS) [1].

Notre thèse, effectuée dans le cadre du projet initié par le laboratoire Génie physique(LGP) de la faculté des sciences de la matière de l'université Ibn khaldoun-Tiaret en collaboration avec le laboratoire Safe School, Université de BASILICATA en Italie, s'inscrit dans la continuité des recherches [2-6] qui se sont succédé pour répondre aux attentes des

Introduction générale

sociétés en perpétuelle évolution à propos des matériaux polymères. Notre investigation, donc, vise la connaissance des processus de vieillissement du polyéthylène basse densité (PEbd) utilisé pour couverture des serres agricole dans un milieu aride et semi-aride.

La revue de la littérature nous a appris que de nombreuses études sur le vieillissement et la dégradation du polyéthylène basse densité ont été abordés par un grand nombre de chercheurs ces dernières années [2-6]. En effet, ces chercheurs se sont efforcés, depuis trois décennies, à élucider les processus mis en jeu dans l'activité de dégradation du polyéthylène utilisé pour la fabrication des films à usage industriels et agricoles et ce en s'appuyant sur des expérimentations différentes.

Toutes les recherches ont été réalisées en vue de comprendre et de maîtriser les mécanismes de réactions des polymères exposés à des facteurs externes suite à des techniques expérimentales de caractérisation fine ainsi que les outils de modélisation et de simulation divers.

La résistance et la durabilité des polymères ont été largement traitées et ce dans d'innombrables travaux de recherches dans des contextes différents ; importantes qu'elles soient, elles restent, continuellement, des problématiques à analyser pour comprendre davantage leurs processus.

Nous savons que tout objet de recherche renvoie à l'objectif final poursuivi à travers une recherche donnée et qui sert comme une sorte de réponse à la question initiale qualifiée de pertinente lorsque nous voulons être crédibles dans un travail de recherche.

Notre objectif principal est de produire une connaissance scientifique pour faire progresser la discipline et développer le champ de recherche. Notre intention étant de comprendre et d'expliquer un phénomène dans une optique scientifique ; il s'agit pour nous d'identifier les causes de vieillissement des matières plastiques, d'anticiper et de modéliser les durées de vie des polymères en repérant les améliorations éventuelles.

En ce qui concerne le cadre théorique et conceptuel que nous avons élaboré et qui nous a permis de répondre aux questions posées, nous nous sommes inspirées de plusieurs cadres qui se sont intéressés à la science des matériaux visant la connaissance des processus de dégradation du polyéthylène, en particulier, les travaux de Haudin, J. M., G'sell, (1995) [7] et

Introduction générale

de Verdu J. [8] relatifs à la mécanique des polymères, et aux différents types de vieillissement chimique des plastiques.

Notre hypothèse principale est que la sensibilité du PE est une conséquence due à l'agressivité naturelle des conditions climatiques du milieu d'exposition ce qui influe sur les propriétés des matériaux.

Au niveau pratique, la méthode d'investigation que nous avons adoptée est la méthode expérimentale. Il s'agit, en effet, d'une approche scientifique et systématique où le chercheur manipule des variables et contrôle et mesure tout changement dans les autres variables. D'une manière générale, nos variables dépendantes sont représentées par la structure et les propriétés du polymère étudié et les variables indépendantes sont représentées par les paramètres climatiques et contextuels.

Des échantillons de film ont été prélevés et ont fait l'objet d'analyses spectrophotométriques.

Pour la structure de notre travail, nous avons adopté le plan classique d'une thèse en sciences des matériaux. En effet, notre travail s'articule en deux parties et se décline comme suit : Après une introduction où nous avons présenté les différentes composantes qui ont soutenu notre travail de recherche, **La première partie théorique** est consacrée à une étude bibliographique où nous présentons dans un premier chapitre les définitions et les généralités relatives aux polymères. **Le second chapitre** sera consacré à la définition de la notion de vieillissement, aux mécanismes et aux différents types de vieillissements d'un polymère. **La deuxième partie** expérimentale sera réservée à la présentation de la méthodologie de recherche que nous avons adoptée et dans laquelle nous exposerons dans un **troisième chapitre** le contexte en définissant les notions de plasticulture, de serres et de climat. Nous présenterons les différentes phases et méthodes qui ont engendré notre investigation.

Le quatrième chapitre sera consacré à la présentation et interprétation des résultats ainsi que la discussion des résultats obtenus où nous comparerons nos résultats avec ceux des autres recherches et nous essayerons de voir s'ils correspondent au cadre que nous avons adopté.

Références Bibliographiques de l'introduction

- [1] SBEHISSA,S.FCHABIRA,MSEBAA,(2015), Etude Spectroscopique (FTIR et UV) du Vieillissement Climatique de Films en Polyéthylène Basse Densité en Région Subsaharienne. Revue des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, Université Ammar Telidji, ISSN 2170-0737.
- [2] DEHBI Abdelkader, 2008, « Etude du vieillissement naturel et artificiel des films multicouches utilisés comme couverture de serre agricole », thèse de Doctorat, Univ. D'Oran Algérie.
- [3] Vincent VERNEY. 2011, Rhéologie, oxydation et vieillissement des polymères. *Rhéologie 20*, Université Clermont Ferrand, France.
- [4] Rabih KHAZAKA, 2011, Etude du vieillissement de polymères isolants utilisés dans le packaging des modules de puissance haute température, thèse de Doctorat, Univ. Toulouse-France.
- [5] Bruno FAYOLLE et Jacques VERDU, 2005, Vieillissement physique des matériaux polymères, *Revue : Techniques de l'ingénieur*, Paris.
- [6] R. DETERRE et G. FROYER, 1997, Introduction aux matériaux polymères, Technique et Documentation. Lavoisier, Paris
- [7] HAUDIN, J. M., G'SELL, C. Introduction à la mécanique des polymères, Institut National polytechnique de Lorraine, Nancy, France, 1995, 57-76
- [8] VERDU J. - Différents types de vieillissement chimique des plastiques, Techniques de l'ingénieur, traité Plastiques et Compostes

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LES POLYMERES

Introduction

Aujourd'hui, les matériaux polymères occupent une place importante dans nos sociétés ; leurs applications se font dans divers domaines et cela selon leurs types et selon leurs propriétés. La connaissance des caractéristiques d'un polymère est incontournable dans le choix de son utilisation dans un domaine donné.

Le plus souvent les polymères sont utilisés dans différents milieux atmosphériques et conditions climatiques variables lesquels, inévitablement, ont un impact sur leurs propriétés physico-chimiques et par conséquent, ils subissent de multiples dégradations qui, parfois sont néfastes voire dramatiques pour les humains. En effet, les accidents dus à leur utilisation inappropriée sont nombreuses surtout dans les domaines très sensibles, tels que la médecine, l'aéronautique ou le nucléaire. Donc, l'étude de l'impact de l'environnement sur le vieillissement des polymères est très importante, non pas uniquement pour des raisons économiques, mais surtout pour des raisons sécuritaires. Il s'agit de connaître les défaillances de ces matériaux lors de leur mise en œuvre pour une éventuelle amélioration des conditions d'application.

I.1-Les matières plastiques

Par définition [1], pour les profanes, le plastique désigne une matière de substitution bon marché et relativement fragile. Les matières plastiques sont multiples et ont des caractéristiques physico chimiques et mécaniques différentes.

La recherche concernant les matières plastiques date depuis le 19^{ème} Siècle : après la cire et le mastic est apparu le caoutchouc et la bakélite. Dans les années 30, ces produits d'origine végétale ont été remplacés par des produits d'origine organique grâce au pétrole qui a été à l'origine de la fabrication des polyesters, des polystyrènes et des polyéthylènes.

Les plastiques constituent une grande famille de 80 000 produits ; ils représentent environ 80% de la consommation mondiale de pétrole. En effet, la production mondiale de matières plastiques a atteint un niveau record de 320 millions de tonnes en 2015. En raison des propriétés des plastiques et de leur faible coût, leur utilisation a été multipliée par vingt depuis la moitié du siècle dernier [2]. L'utilisation mondiale du plastique augmente chaque année à un rythme exponentiel, de 620 % depuis 1975 et en 2012, elle était estimée alors à 288 millions de tonnes métriques [3].

I.1.1 Les caractéristiques des matières plastiques

Les matières plastiques sont caractérisées, généralement, selon leur réaction à la chaleur, ils sont classés en deux types, les thermoplastiques et les thermodurcissables. Le premier est un plastique qui a été moulé à chaud et il est utilisé à froid, le second est un plastique qui a été moulé à chaud et a été réticulé à cette température.

Les matières plastiques étaient exclusivement, naturelles avant l'avènement des polymérisations lesquelles ont engendré une gamme de caractéristiques pour ces matériaux en les synthétisant. En effet, il y a des plastiques élastiques, d'autres dures ou molles ; il existe, aussi, des matériaux conducteurs ou isolants. Leur caractéristique commune est leur légèreté. C'est la nature particulière de leurs molécules en forme de chaîne, ainsi que la variété des modes d'assemblage qu'elles adoptent, qui est à l'origine de cette diversité [4].

I-1.2. Inconvénients d'utilisation des plastiques

Les mauvaises pratiques de gestion des déchets plastiques sont la cause des problèmes d'ordre écologique, économique et même esthétique. Les produits rejetés émanant d'activités industrielles et commerciales polluent l'environnement.

Selon Browne et coll., 2011 ; Eriksen et coll., 2014 la caractérisation du plastique et de son incidence possible sur l'environnement est complexe. Les microbilles sont fabriquées en différentes tailles et formes et n'ont pas une composition chimique unique, mais bien une composition variée, dont les plus fréquentes sont le polyéthylène, le polyéthylène téréphtalate, le polypropylène, le polyamide, les polyesters, le polystyrène et le polychlorure de vinyle. Elles peuvent contenir des résidus de produits chimiques provenant d'usines et de polluants absorbés à différentes étapes du cycle de vie. Une fois dans l'environnement, le plastique y reste pendant de nombreuses années [5,6].

Parmi les accidents et les conséquences néfastes dont l'origine est la mise en œuvre des matières plastiques, nous citons le trou dans la couche d'ozone et les pluies acides ainsi que la déforestation massive due à l'exploitation de la matière première.

La protection de l'environnement s'impose pour la préservation des équilibres de la planète et ce par une utilisation adéquate et raisonnable des ressources naturelles.

Tous les scientifiques s'accordent à affirmer que le changement climatique qui est d'origine fortement anthropique, est une des conséquences directes de nos modes d'utilisation des ressources énergétiques. En effet, les rayons du soleil et la radioactivité naturelle sont des facteurs de l'échauffement du climat terrestre. Les gaz à effet de serre (GES), dont les plus importants sont la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane et le protoxyde d'azote (oxyde nitreux), absorbent une part de cette radiation de la terre vers l'espace et contribuent au réchauffer l'atmosphère.

Deux éléments de la physique du climat pourraient y contribuer : La fonte des glaces des régions polaires et l'élévation du niveau des eaux des mers.

La menace due à la croissance des émissions de gaz à effet de serre et par conséquent, la probabilité d'un changement climatique dont les inconvénients seront importants contraindraient l'humanité à revoir ses modes de production et d'utilisation de l'énergie.

I.2 : Les polymères

Introduction

Aujourd'hui, l'utilisation des polymères dans divers domaines a remplacé les matériaux traditionnels tels que le métal, le bois, les céramiques ou autres. Les métaux, les céramiques et polymères constituent la famille des matériaux mais l'apparition des polymères artificiels issus de la pétrochimie au xx siècle a bouleversé le monde des matériaux avec leur extraordinaire diversité des propriétés obtenues par arrangement des chaînes. En effet, leur légèreté et la facilité de leur mise en forme leur permet d'être choisis par rapport aux autres matériaux [4]. Or, le choix se fait, aussi, par rapport aux applications envisagées par conséquent, les critères de choix doivent prendre en compte les facteurs de fonctionnalité de l'objet fabriqué et les conditions d'utilisation ainsi que le comportement intrinsèque des matériaux. D'une façon générale, le choix se fait selon des facteurs de performance, soit pour des raisons économiques ou écologiques.

I.2.1. Définition de la notion de polymère

Le Polymère est un mot qui vient du grec « pollus » qui veut dire « plusieurs » et « meros » qui veut dire « partie ». Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère [7]

Selon P. Combette et al (2016), les polymères sont « des matériaux formés de longues molécules ou macromolécules à liaisons covalentes englobant les matières plastiques et les caoutchoucs » [1].

Une définition plus simple de la notion de « polymère » nous est proposée par le dictionnaire [5] : le terme désigne « une molécule de masse moléculaire élevée généralement organique ou semi-organique. Une macromolécule constituée d'un enchaînement d'un grand nombre d'unités de répétitions, d'un ou de plusieurs monomères, unis les uns aux autres par des liaisons covalentes. Les matériaux thermoplastiques, thermodurcissables et élastomères sont des polymères.

Notons qu'un polymère peut être naturel ou obtenu par modification chimique d'un polymère naturel, mais il peut aussi être entièrement synthétisé par voie chimique par une réaction dite de « polymérisation » [6]. Ces matériaux sont classés selon leur origine, la composition chimique de leur chaîne ou selon leur masse molaire.

Au niveau historique, la recherche sur les polymères a pris son essor dans les années 40, suite aux besoins urgents de ces matériaux pour la fabrication des outils et matériel pendant la guerre [3].

En effet, c'est avec l'entrée en guerre des États-Unis et des pays alliés durant la seconde guerre mondiale (1940-1945) et suite à la pénurie de la matière plastique naturelle pour l'approvisionnement des usines de fabrication industrielle que ces pays se sont vu contraints de trouver des substituts à ces matières naturelles et se sont lancés dans la recherche dans le domaine de la macromolécule et ont développé plusieurs méthodes tels que l'extrusion, le filage, le moulage et bien d'autres méthodes de transformation de ces matériaux.

D'un point de vue chimique, un polymère est un matériau composé de macromolécules constituant un type de matériaux. Il en existe plusieurs types de polymères qu'on peut classer comme suit :

- Les matières plastiques
- Les fibres naturelles : le bois, la laine, la soie, le cuir, le papier... etc.
- **Les caoutchoucs**
- **Les colles et les résines**
- **Les peintures**

Selon A. Boudet, (2003) [8], un polymère est « une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère. »

Par ailleurs, les polymères, sont définis comme étant « des matériaux organiques composés de macromolécules [...] formées de la répétition d'unité monomère n fois. (n est appelé « degré de polymérisation ») [9].

Pour les personnes non initiées le nom de « polymère », est connu plus par l'appellation « fibres textiles » ou « matériaux de construction » en d'autres termes : polyester ou PVC.

Dans un langage très simple, un polymère, est un poly-quelque chose ; où « poly » signifie la répétition d'un motif générique, tandis que le suffixe –« mère » signifie « qui engendre », appelé monomère.

Pour les profanes, nous pouvons citer quelques exemples de polymères usuels.

- le polyéthylène (PE) : le matériau utilisé pour les emballages qui est le plus utilisé dans le quotidien de tous les gens.
- Le polystyrène (PS) : très connu dans les emballages des appareils fragiles
- Le polypropylène (PP) : qu'on utilise, actuellement, dans tous les matériaux de plomberie.
- Le polychlorure de vinyle (PVC). On l'utilise pour la fabrication des chaussures synthétiques et des disques.
- Les polyamides ou nylons utilisés pour la fabrication de fibres synthétiques.

1.2.2- Les différents types de polymères

Il existe différents types de polymères et on peut les classer selon divers critères qui sont complémentaires. Le critère le plus évident est celui de l'origine puisqu'on peut trouver les polymères :

- ✓ Naturels : tels que la cellulose, caoutchouc naturel... etc.
- ✓ Artificiels : (acétates de cellulose) : ressource renouvelable, recyclables,
- ✓ Synthétiques (fabriqués suite à une polymérisation) par ailleurs, les polymères sont classés, le plus souvent, selon leurs propriétés.
- ✓ Dans cette perspective, on distingue, généralement trois catégories :
- ✓ Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères
- ✓ Les deux propriétés principales qui différencient ces différentes catégories sont la température et le degré d'élasticité.

1.2.2.1 - Les thermoplastiques

On obtient ces polymères par chauffage des matériaux qui fondent quand ils sont chauffés à une certaine température et prennent la forme selon le moule désiré sans modification de leur structure chimique.

Dans cette classe on peut citer à titre d'exemple le polyéthylène, le polypropylène, des polyamides, les polyesters, le PVC

L'avantage du procédé de moulage de ces polymères par rapport à celui des métaux est leur faible température de fusion qui est bien plus basse et qui est de l'ordre de 80°C à 300°C. Le moulage et l'extrusion sont des procédés de mise en forme de ces polymères ; Si le premier est connu, le second consiste à faire passer la matière chaude dans une vis qui l'entraîne dans une filière dont le profil permet de produire des fils, des films, des plaques, des tubes, des enrobages de câbles [10]. Les thermoplastiques constitués de chaînes ramifiées On y distingue deux classes :

a) Les thermoplastiques amorphes

La plupart des polymères thermoplastiques ont une structure amorphe. En effet, les macromolécules linéaires y sont entre mêlées et mises en désordre ; elles sont flexibles et disposées sans aucune règle, de façon aléatoire. Ces macromoléculaires n'ont, donc, ni ordre ni température de fusion précise, Ces polymères sont utilisés sans adjonction d'autres substances et sont, généralement, transparents. C'est le cas, des films de polyéthylène basse densité (PEBD), du polystyrène (PS), du poly-méthacrylate de méthyle (PMMA).

b) Les thermoplastiques cristallins

Généralement, la structure cristalline n'est pas réservée à tout ce qui est minéral. Or, les polymères thermoplastiques peuvent présenter une structure cristalline ou semi-cristalline sous des aspects spécifiques aux polymères à cause de leurs longues molécules : les cristallites et les sphérolites [2].

A titre d'exemple, dans une cristallite de polyéthylène, les chaînes macromoléculaires linéaires non ramifiées sont repliées en accordéon. Les parties rectilignes des repliements s'ajustent les unes contre les autres en empilements réguliers. Les chaînes ne sont pas parfaitement alignées et parallèles, ou bien pas vraiment calées les unes contre les autres. Il s'ensuit que les cristaux ne se développent qu'à des tailles très limitées, inférieures au micromètre. C'est ce qu'on nomme cristallites. Les matériaux en polyéthylène et autres thermoplastiques sont constitués de cristallites enrobés de matière amorphe (Ils sont dits semi-cristallins) [11].

Selon nombreux chercheurs, [1, 2, 7], l'importance de la structure cristalline dans un matériau dépend du taux de cristallinité de sa structure.

1.2. 2.2 -Les thermodurcissables

La deuxième catégorie est celle des thermodurcissables qui se caractérisent par l'irréversibilité de leur fabrication. En effet, la matière chauffée durcie et obtient une structure définitive. Parmi ces polymères, on peut citer toutes les colles, les peintures, les résines poly-époxydes, certains polyuréthanes, certains polyesters [12].

Les thermodurcissables ont leurs macromolécules orientées dans les trois directions de l'espace. Ils n'ont pas de point de fusion précis. De plus, ils résistent mieux au fluage et

permettent plus facilement le moulage de grandes pièces avec des fibres tissées, longues ou courtes [2].

Les thermodurcissables sont généralement amorphes. En effet, les réticulations et pontages ont lieu dans toutes les directions empêchant tout ordre d'orientation, provoquant l'isotropie du matériau. Cela ressemble à un enchevêtrement de laines s'accrochant les unes aux autres par des tentacules en de multiples points [13].

1.2. 2.3 - Les élastomères

La troisième catégorie des polymères amorphes est celle des élastomères. Les caractéristiques principales de ces matériaux sont leur élasticité et leur réversibilité ; en effet, lorsqu'on tire sur un élastomère, les molécules se déplient et s'allongent puis reprennent leur position initiale lorsqu'on relâche la tension. Comme les molécules de ces matériaux sont linéaires, et sont reliées de façon assez lâche, elles ont la faculté de se séparer

Dans cette catégorie, on peut citer les caoutchoucs tels que le poly isoprène et le polybutadiène.

1.2. 2.4 - Les fibres

Il faut ajouter à ces trois catégories celle des fibres naturelles utilisées dans le domaine textile tel que la soie, le coton qui se caractérise par leurs microstructures qui sont variées. Elles peuvent être amorphes ou semi-cristallines. La fibre possède la meilleure résistance à la traction.

On peut aussi classer les polymères selon leurs structures et leurs propriétés.

I.2.3. Structures des polymères

La structure d'un polymère dépend de l'enchaînement des motifs monomères ; on distingue trois aspects [14] :

- Niveau primaire
- Niveau secondaire
- Niveau tertiaire

La structure primaire est l'enchaînement covalent des motifs monomères. Par ailleurs, la structure secondaire est la conformation d'une chaîne isolée. Tandis que la structure tertiaire touche à l'organisation des chaînes au sein du matériau.

I.2.4. Propriétés des polymères

Quand on évoque la notion de « propriété d'un matériau », le plus souvent, on pense à ses avantages et à ses inconvénients lorsqu'il est produit pour être utilisé. Le travail consiste à évaluer la réaction à une sollicitation puis mesurer et choisir le matériau selon sa sensibilité à cette stimulation. La propriété la plus connue des matériaux est celle de la résistance. En outre, celle des polymères est leur malléabilité.

Les propriétés dépendent de la nature chimique des molécules du matériau. En effet, les molécules des thermoplastiques sont linéaires tandis que celles des thermodurcissables sont réticulées. Le téflon, à titre d'exemple, a une propriété d'anti-adhérence et de résistance à la chaleur parce que sa molécule comporte des atomes de fluor d'où son utilisation dans les ustensiles de cuisine.

Les polymères sont des matériaux qui ne sont tous pas identiques, car les liaisons entre les monomères sont différentes. Les variations de structures des polymères engendrent des propriétés et des fonctions très variées des produits fabriqués. En général, le choix d'un matériau pour une application donnée, dans un domaine donné est la conséquence de propriétés adaptées ; en effet, le domaine de la médecine choisit le matériau dont les performances de durabilité sont très importante ; alors que le domaine de l'industrie opte pour des matériaux qui permettent le renouvellement des pièces fabriquées et ce dans une perspective essentiellement économique.

On distingue plusieurs types de propriétés des matériaux selon leurs usages dans des domaines divers. Le matériau est choisi selon sa disponibilité, sa fiabilité, sa possibilité de recyclage, son coût et son aspect.

Les propriétés des polymères et leur choix peuvent se résumer comme suit : faible coût, usinage facile, ténacité et flexibilité aux basses températures, absence d'odeur et de toxicité, transparence.

Comme nous l'avons défini dans le chapitre précédent, on appelle le polyéthylène ramifié, ou LDPE (polyéthylène basse densité) et on appelle le polyéthylène linéaire, ou HDPE (polyéthylène haute densité) quand ce dernier n'est pas ramifié.

Les HDPE sont des produits rigides qui sont utilisés dans la fabrication des bouteilles, des flacons et des boîtes etc. Tandis que les principales applications du LDPE sont des produits souples tels que les sacs, les sachets et les films etc.

Si on compare le polyéthylène linéaire HDPE au polyéthylène basse densité, il est beaucoup plus résistant que le polyéthylène ramifié, mais le LDPE est moins cher plus facile à fabriquer.

Les principales propriétés des polymères sont :

I.2.4.1. Propriétés chimiques

La résistance chimique aux solvants, la résistance à la corrosion et à l'oxydation, la résistance aux rayons ultraviolets, sont les propriétés chimiques les plus pertinentes dans le choix d'un matériau destiné à l'usage dans un domaine donné.

A titre d'exemple, le thermoplastique semi-cristallin possède des propriétés similaires au Polyéthylène Faible Densité (PEfd) mais nettement plus solide et rigide, offrant une meilleure résistance chimique. Sa résistance aux impacts est assez élevée et se conserve à basse température bien que celle du PEfd soit nettement plus élevée. Ses propriétés électriques, particulièrement à hautes fréquences sont très bonnes mais restent néanmoins inférieures à celles du PEFD. Ses propriétés de protection, bien que peu remarquables, sont meilleures que celles du PEFD.

Par ailleurs, le LDPE thermoplastique semi cristallin est souple, flexible et dur - même à basses températures - avec des propriétés électriques remarquables mais une faible résistance aux températures. Il a également une très bonne résistance chimique mais a tendance à se rompre sous charge ; il a une faible résistance aux UV (à moins d'être modifié) et de faibles propriétés de protection hormis avec l'eau [15].

I.2.4. 2. . Propriétés physiques

Les propriétés telles que la conductibilité électrique ou thermique et l'aimantation orientent les fabricants dans le choix des polymères lesquels sont choisis selon leurs propriétés électriques. Ils sont utilisés comme isolants électriques, en particulier dans les câbles électriques.

I.2.4. 3. Propriétés mécaniques des polymères

Les propriétés mécaniques concernent les comportements des polymères quand ils sont soumis à des sollicitations mécaniques telles que les pressions, les frottements, les torsions et les tractions. Dans ces conditions, on peut mesurer la charge à la rupture, la résistance à l'usure, Certains polymères seront appréciés pour leur bonne stabilité dimensionnelle, d'autres pour leur élasticité ou leur amortissement contre les chocs. Certaines fibres textiles sont choisies pour leur ductilité et leur viscosité

I.3- Le Polyéthylènes :

1.3.1. Généralités sur les polyéthylènes

Au niveau historique, selon Ph. Marechal (2011) [8], le polyéthylène basse densité radicalaire (PEbd) fut découvert en Grande-Bretagne par la firme ICI juste avant la Seconde Guerre mondiale. Il fut inventé par les ingénieurs E.W. Fawcett et R.O. Gibson. Les PE-BD et PE-BDL sont employés principalement pour l'emballage des aliments et de divers produits industriels. Ils ont une masse volumique comprise entre 0,915 et 0,935 g/cm³ et sont fabriqués par des procédés polymérisant l'éthylène à haute pression (Fig.1).

À la fin des années 70, Union Carbide mit au point le polyéthylène basse densité linéaire (PE-bdl) obtenu par un procédé à basse pression avec des catalyseurs dits de type Ziegler-Natta. Les centres de production correspondants donnent une plus large gamme de produits que les unités travaillant à haute pression et permettent de produire des polyéthylènes de haute densité (PE-HD) (densité de 0,935 à 0,970) et bien d'autres.

C'est dans les années 90 que sont apparus sur le marché des PE-BDL (densité de 0,915 à 0,935), fabriqués par des procédés à basse pression.

Les différents polyéthylènes basse densité ont de bonnes propriétés diélectriques, une faible perméabilité à la vapeur d'eau et une bonne résistance à la fissuration sous contrainte.

Le polyéthylène est un polymère fabriqué à partir de l'éthylène. Il appartient à la famille des polyoléfines. C'est un important polymère de synthèse, avec le PP, le PVC et le PS. Sa production mondiale était estimée à 80 millions de tonnes en 2008 [7,12].

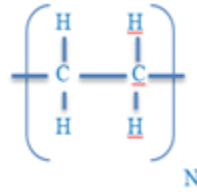


Figure I.1. Formule chimique de l'identification d'un polyéthylène basse densité

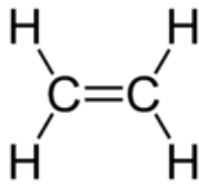


Figure I.2. Formule d'une molécule d'éthylène

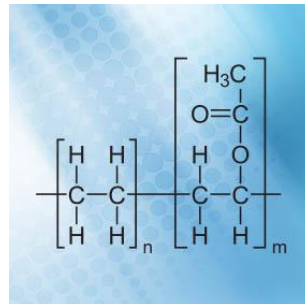


Figure I.3 Formule de la copolymérisation de l'Éthylène Acétate de Vinyle – EVA

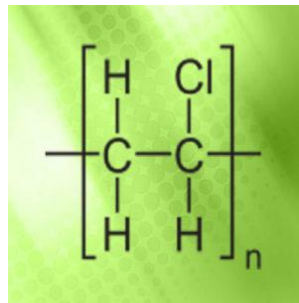


Figure I.4 Formule du chlorure de poly-vinyle – PVC

Selon les mêmes auteurs [9,12], le polyéthylène est un polymère thermoplastique, translucide, chimiquement inerte qui se caractérise par une résistance au froid et une malléabilité élevées. De plus, il est facile à traiter et à faible coût au niveau commercial.

Après polymérisation de l'éthylène (fig.I-2), on obtient des chaînes de polymère relativement simples suite à la ramification de la structure principale. On produit, alors, différents types de polyéthylènes en fonction du degré de ramification de leur structure moléculaire.

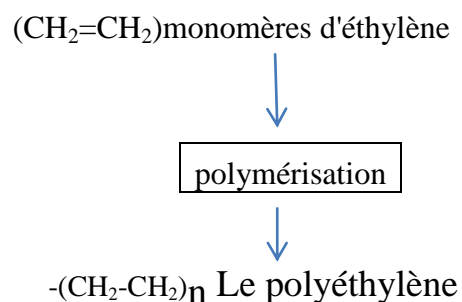
Il existe trois principales familles de PE :

- le HDPE (PE haute densité),
- le LDPE (PE basse densité) et
- le LLDPE (PE à basse densité linéaire).

Le LDPE est plus ramifié que le HDPE, ce qui signifie que les chaînes s'assemblent moins bien entre elles. Il en résulte un taux de cristallinité moindre une plus faible densité, En revanche, le HDPE est plus rigide. En outre, ce polymère est obtenu par polymérisation radicalaire vinylique sous très haute pression, et possède une masse molaire de l'ordre de 200 000 à 500 000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Les autres PE peuvent être obtenus par une méthode de synthèse plus complexe [7].

Processus de production du polyéthylène par polymérisation (fig I-2).



I.3.2. Classification des polyéthylènes

Il existe différents types de polyéthylène qui se caractérisent par un nombre important de familles et de propriétés qui permettent de les utiliser dans des applications très variées.

Nom	Sigle	Abréviation norme ISO	Synthèse	Masse volumique(g/cm ³)
Polyéthylène à très basse densité	PE-TBD	PE-VLD	Catalyse de Ziegler-Natta à basse pression (< 10 bar) et par catalyse métallo-cènes (mPE-TBD)	
Polyéthylène à basse densité linéaire	PE-BDL	PE-LLD	Copolymérisation avec des oléfines par catalyse Ziegler-Natta à basse pression (< 10 bar)	
Polyéthylène basse densité	PE-BD	PE-LD	Polymérisation radicalaire sous très haute pression	0,910 - 0,925 ⁸
Polyéthylène moyenne densité	PE-MD	PE-MD	Catalyseur Phillips	0,926 - 0,940 ⁹
Polyéthylène haute densité	PE-HD	PE-HD	Catalyse Ziegler-Natta et par catalyse métallo-cène (mPE-HD)	0,941 - 0,965 ⁸

Tableau I.1 : Types des polyéthylènes [7]

Les deux grands types de polyéthylènes usuels sont : Les homopolymères et les copolymères.

I.3.2.1 Les homopolymères.

D'après leur préfixe, « Homo », les homopolymères sont des polyéthylènes qui ne possèdent qu'une seule unité. Ils sont formés par l'association de molécules issues d'un seul

monomère. On les distingue les différents types d'homopolymères, selon leur densité qui dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes sur les chaînes moléculaires et/ou selon leur masse molaire basse ou élevée. Ils peuvent être :

- Linéaires- Branchés ou ramifiés -Étoilés

I.3.2.2 Les copolymères.

A l'inverse des homopolymères, les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. Parmi les différents types des copolymères, on les distingue selon leur mode [2,7].

- le mode statistique.
- le mode alterné.
- le mode séquencé.
- le mode greffé.

Il existe plusieurs types d'associations des monomères dans une seule et unique molécule. En effet, par exemple, une molécule peut comporter à la fois de l'éthylène et du propylène. On obtient, alors, un copolymère éthylène – propylène. Dans le cas où les monomères sont disposés en blocs, on parle de copolymère à blocs qui se caractérise par sa résistance au froid. Tandis que lorsque les monomères sont disposés au hasard, on parle de copolymère statistique qui se caractérise par sa souplesse.

Ces deux types de polymères, qu'ils soient homo ou copolymères, peuvent être réticulés. Un polymère réticulé est un polymère dont certaines de ses chaînes sont reliées entre elles par des ponts chimiques covalents.

I.4.2.La Polymérisation

Il existe de nombreuses substances macromoléculaires naturelles: les protéines fibreuses (des cheveux, des poils de laine, des plumes, des angles), les protéines corpusculaire telles que l'insuline, l'hémoglobine, l'ovalbumine, la cellulose substance de soutien et l'amidon substance de réserve des cellules végétales, le glycogène du foie, lignine du bois, le caoutchouc et la gutta percha, le diamant et le graphite, les silicates et l'alumina silicates parmi tant d'autre. Seul un petit nombre de ces composés macromoléculaires a pu être reproduit synthétiquement. Hormis la synthèse du diamant par modification de la structure du

graphite et celle de quelques silicates et corps minéraux peu complexe, il a fallu plus de dix ans pour que soit effectuée, par une importante équipe allemande. La synthèse de l'insuline de bœuf, et par une équipe chinoise celle de l'insuline de porc [16]. En revanche, les chimistes organiciens ont créé d'innombrables macromolécules qui n'existent pas dans la nature, en vue d'applications techniques dont certaines étaient au paravent l'apanage des macromolécules naturelles [16].

La synthèse chimique est un procédé fondamental permettant de préparer et / ou de fabriquer une entité chimique à partir d'autres unités chimiques plus petites et structurellement différentes. La synthèse de molécules plus complexes fait généralement intervenir plusieurs étapes réactionnelles. C'est le contraire de l'analyse qui cherche à isoler des substances pour voir ensuite de quoi elles sont faites [17].

La synthèse macromoléculaire conduit à l'élaboration de polymère dans les masses moléculaires, leur distribution, la nature des extrémités de chaînes, la composition et la structure sont bien définies, constituent l'étape de base pour élaborer des édifices supramoléculaire dont l'architecture est contrôlée. Elles possèdent des applications et des propriétés spécifiques [16].

On distingue habituellement deux types principaux de polymérisation: les polymérisations en chaîne (polyaddition) et les polymérisations par étapes (polycondensation) [18].

I.4.2.2. La polymérisation en masse

Dans ce type de polymérisation, les réactions sont généralement lentes à température ambiante, il est intéressant d'opérer à des températures suffisantes pour que les monomères et polymères soient fondus ; dans ces conditions, le milieu réactionnel est toujours homogène et la polymérisation se trouve facile. Mais outre la dépense énergétique supplémentaire correspondant à ce chauffage ; il apparaît des risques de dégradation des produits. La polycondensation en masse présente l'avantage de conduire à un polymère sec directement utilisable, mais malheureusement l'opération est assez lente, elle nécessite une importante dépense d'énergie [19].

a- La polymérisation en solution

Bien qu'il s'agisse d'une méthode très développée en laboratoire, son utilisation industrielle est limitée. Son importance relative devrait cependant croître compte tenu du développement des nouveaux polymères aromatiques à températures de transition (T_g) et (T_f)

élevées. Le mélange solvant contient en général un composé inerte vis-à-vis des réactifs et un agent gonflant du polymère ; un capteur de proton (pyridine, tri-éthylamine) est ajouté pour fixer le chlorure d'hydrogène formé. Le pouvoir solvant de ces composés organiques est fortement accru par l'introduction de sels minéraux tels que LiCl ou CaCl₂ [20].

b- La polymérisation en suspension

L'association de ces deux types de polycondensation a été utilisée dans la préparation de polyamides en deux étapes. Un dicarboxylate de phényle est d'abord polycondensé avec une diamine en suspension dans un hydrocarbure aromatique. Le phénol et le composé précipitent dans le dispersant qui doit dissoudre le dicarboxylate de diphenyle sans gonfler le polyamide₁₂ formé. Cette polycondensation en suspension donne un prépolymère (1000 à 4000) qui est ensuite pulvérisé et poly-condensé à l'état solide [21].

I.4.2.2. La polymérisation en chaîne

Le détail des réactions intervenant dans la polymérisation en chaîne, ainsi que leur probabilité de se produire, dépendent non seulement de la nature du monomère, mais aussi fortement de la nature du centre actif.

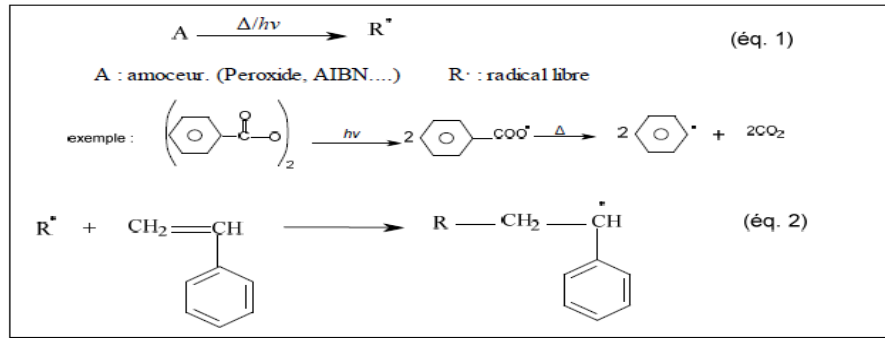
Les sites actifs localisés peuvent être de trois sortes :

- un radical : donnant naissance à une polymérisation radicalaire.
- un carbanion: donnant lieu à une polymérisation anionique
- un carbocation: donnant lieu à une polymérisation cationique [22].

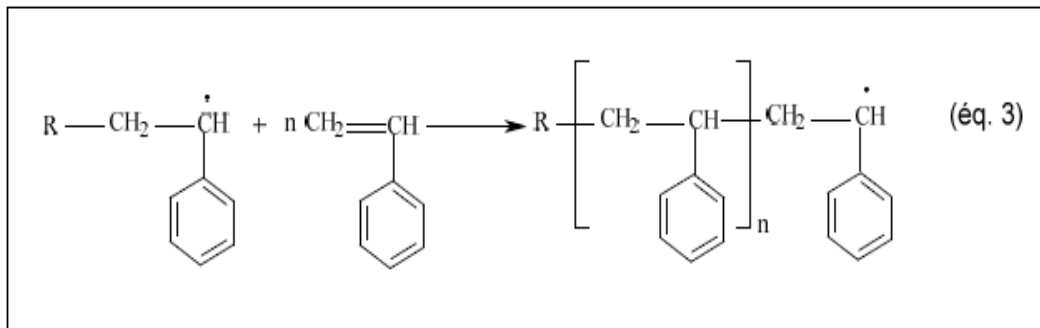
a- La polymérisation par voie radicalaire

La polymérisation radicalaire est une réaction en chaîne qui permet la formation d'un polymère à partir d'un monomère vinylique (CH₂=CH-) en présence des radicaux libres, chaque radical effectue en un temps très court (~0,1 s) un grand nombre de (1000 à 10000) de réactions chimiques élémentaires puis disparaît par réaction mutuelle avec un autre radical. La polymérisation radicalaire comporte généralement trois étapes : on désigne par R., les radicaux libres et par CH₂=CH-X le monomère ; ou X= Cl, CH₃, C₆H₅, COOCH₃ et R=C₆H₅.

Amorçage



Propagation



Terminaison

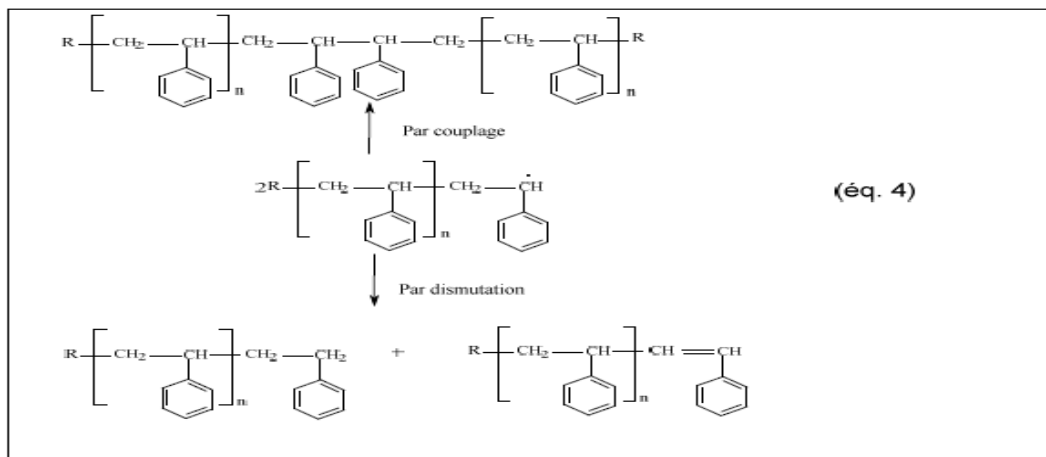


Figure I. 5: Schéma d'une polymérisation radicalaire.

b- La Polymérisation par voie ionique

La polymérisation ionique est une polymérisation d'addition dans laquelle les extrémités de chaîne en croissance portent une charge négative ou positive [8]. L'amorceur des réactions de polymérisation ionique n'est pas un radical, mais un ion (cation ou anion) [18].

I.4.2.3. Polyaddition

Ces réactions utilisant les aldéhydes, les formaldéhydes en particulier, elles s'appliquent essentiellement à la préparation des phénoplastes et aminoplastes. Les réactions des phénols avec le formol, et les amines sur le formaldéhyde sont deux réactions utilisées dans ce type d'addition, ou se déroulent en milieux aqueux et catalysées par des acides ou par des bases.

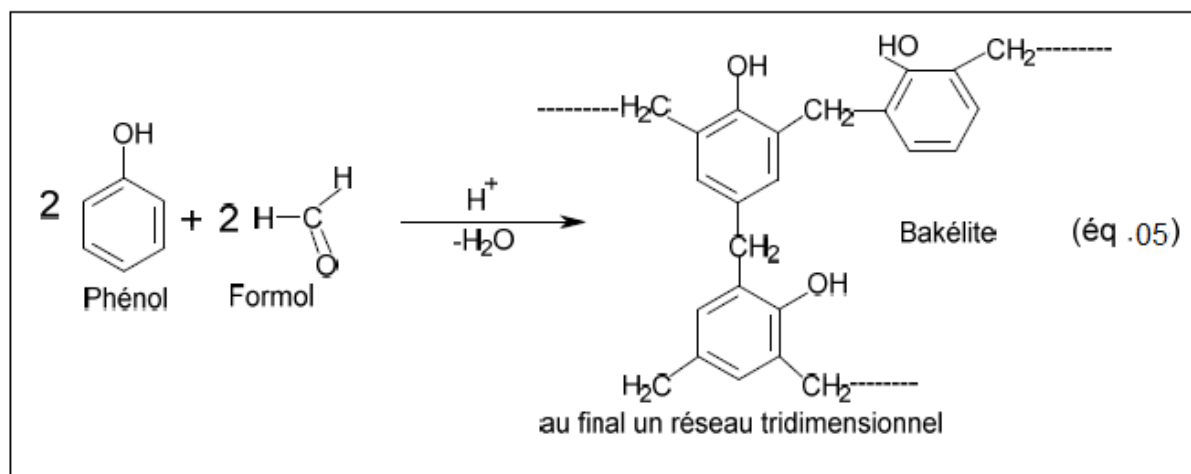


Figure I. 6: Schéma d'une polymérisation par condensation.

I.4.2.4. La polymérisation par Polycondensation

Les réactions de polycondensation sont des réactions par étapes : la macromolécule est construite suite aux réactions successives entre les groupements terminaux de molécules monomères. La poursuite du processus jusqu'à l'obtention d'un polymère peut avoir lieu par ajouts progressifs d'autres molécules monomères ou par réaction entre d'oligomères. Une des particularités de la polycondensation est l'élimination, au cours de la réaction d'un tiers constituant. Il s'agit le plus souvent de molécules d'eau ou d'alcool [18].

Le nombre de groupes fonctionnels qui peuvent réagir pour donner le polycondensat est appelé fonctionnalité f . Il est bien évident qu'avec des composés monofonctionnels, on ne peut pas obtenir de polymères, on obtient un composé normal. Pour que cela soit possible il faut que les monomères aient une fonctionnalité égale ou supérieure à 2 [23].

Lorsqu'un monomère ou un mélange de monomère possède une fonctionnalité moyenne égale à 2, on obtient des polymères linéaires thermoplastiques, fusibles et solubles dans les solvants organiques. Si la fonctionnalité moyenne est supérieure à 2, la polymérisation conduit à des structures d'abord ramifiées, puis réticulées, d'où la formation

de réseaux tridimensionnels infinis. Chaque molécule de monomère de fonctionnalité supérieure à 2 génère un point de réticulation chimique reliant plusieurs chaînes de polymères entre elles [24].

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié les généralités sur les polymères qui sont les matériaux utilisés comme couverture de serre.

Références Bibliographiques du chapitre I

- [1] P. Combette et I. Ernoult, 2006, Physique des polymères, Tome 1, Ed. Presses internationales Polytechnique, Pages 276.
- [2] <http://planet-terre.ens-lyon.fr> : consulté le 22/ 04 / 2017
- [3] www.chimie-sup.fr : Cours de chimie exclusifs.
- [4] ALAIN BOUDET, 2003, *Voyage au cœur de la matière plastique*, CNRS Éditions,
- [5] Glossaire de Futura Sciences, polyéthylène. www.futura-sciences.com. Consulté le 27 Mai 2018
- [6] www.aquaportail.com. Consulté le 17 / 02/ 1017
- [7] Dictionnaire Wikipédia en français, les *polymères*, *Thermostabilité*
- [8] PH. MARECHAL, 2011, Polyéthylènes basse densité PE-BD et PE-BDL. Revue techniques de l'ingénieur.
- [9] <http://studylibfr.com>: polymères publié par M. Bernard
- [10] HAUDIN, J. M., G'SELL, C. Introduction à la mécanique des polymères, Institut National polytechnique de Lorraine, Nancy, France, 1995, 57-76
- [11] M. Bedrane, 2016, La plasticulture en Algérie, INA, Annales N° 3, Elharrach.
- [12] Sbihissa, S. Fchabira, A Msebaa, (2015), Etude Spectroscopique (FTIR et UV) du Vieillissement Climatique de Films en Polyéthylène Basse Densité en Région Subsaharienne. Revue des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, Université Ammar Telidji, ISSN 2170-0737.
- [13] Vincent VERNEY. 2011, Rhéologie, oxydation et vieillissement des polymères. *Rhéologie 20*, Université Clermont Ferrand, France.
- [15] R. DETERRE et G. FROYER, 1997, Introduction aux matériaux polymères, Technique et Documentation. Lavoisier, Paris
- [16] G. Champetier, « synthèse des macromolécules », Encyclopédie Universalis, corpus 11, 428.
- [17] E. Koller, « Synthèse », Dictionnaire Encyclopédique des sciences des matériaux, Ed Dunod Paris, 2008, pp 480, 559.
- [18] Gottfried, W. Ehrenstein, F. Montagne, « Matériaux polymères : Structure, propriétés et application », Ed Hermes Science, 2000, pp 59-63.
- [19] M. S. Bhatnagar, « A text book of polymers (Chemistry and Technology of Polymers) », 1st Edition, S. Chand & company LTD, India, 1984, pp 5, 131.
- [20] J. P. Mercier, E. Marechal, « Chimie des polymères 13-chimie des polymères : Synthèse réaction de dégradation », 1^{ère} édition, Presse polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne, 1993, pp 16, 330, 393-395.

[21] E.Marechal , « Polycondensation et polyaddition », Technique de l'Ingénieur ,Paris,1989 ,vol M 3041, 14-15.

[22] J.L.Halary,F.Lauprêtre « De la macromolecule au matériau polymère : synthèse et propriétésdes chaînes », Ed Belin,2007, pp 40.

[23] J.F.May, «Maitrise de science et techniques-Technologie et transformation des matières plastiques», Université Saint Etienne, 1975, pp 10.

[24] P.Frajman, J.M.Urbain, «Chimie organique et polymères», Ed Nathan, 2007, pp 37,390-396.

CHAPITRE II :
VIEILLISSEMENT DES POLYMERES

II.1 Définition de la notion de vieillissement

Le vieillissement correspond à une évolution lente et irréversible d'une ou de plusieurs propriétés du matériau à partir d'un point de référence, généralement pris dès la fin du cycle de fabrication [1]. Il se traduit par une altération des propriétés fonctionnelles classiquement caractérisées par une perte des propriétés initiales (Poids moléculaire, structure moléculaire, résistance à la traction) et/ ou une fragmentation [2,3]. Quant à la dégradation, elle est affectée par les paramètres environnementaux et se déroule en une ou plusieurs étapes.

Elle peut résulter de modifications de la structure des macromolécules qui assurent leur cohésion mécanique, de leur composition ou de sa morphologie.

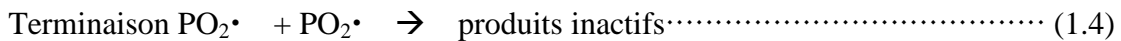
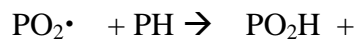
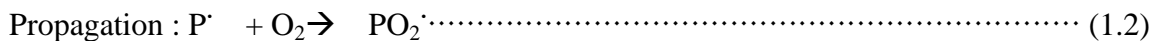
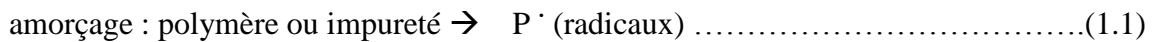
Les différents mécanismes responsables du vieillissement des polymères peuvent être classés en deux grandes catégories : physique ou chimique.

II.2.Mécanismes de vieillissement des polymères

II.2.1 Vieillessement thermique des polymères

La thermo oxydation est une réaction en chaine amorcée par la chaleur en présence d'oxygène.

Pour décrire cette réaction, il existe ce que l'on appelle un "schéma standard" des mécanismes d'oxydation des polymères, composé essentiellement de trois étapes et qui peut être écrit comme suit (Verdu 1984):



Divers mécanismes de terminaison sont possibles :



On peut donc s'attendre à ce que des hydro peroxydes (PO₂H), des peroxydes (PO₂P), des cétones ou des aldéhydes (P'=O) et des alcools (POH) soient formés par ce processus

standard. La réaction (1.2) correspondant à la transformation des radicaux primaires P^{\square} en radicaux pyroxyles (PO_2) est extrêmement rapide et ne va pas contrôler la cinétique globale sauf si l'oxygène fait défaut (cinétique contrôlée par la diffusion de O_2). La réaction (1.3) gouverne donc la vitesse de propagation du processus, il s'agit de l'arrachement d'un atome d'hydrogène sur le polymère. Le classement de la stabilité vis-à-vis de l'oxydation correspond donc à celui des énergies de liaisons C-H contenues dans le squelette macromoléculaire et prend en compte des critères d'encombrement stérique lié à l'accessibilité de l'atome d'hydrogène.

I1.2.2 Vieillessement photochimique des polymères

La photo oxydation est aussi une réaction en chaîne, similaire à la réaction de thermo oxydation mais en diffère par la première étape puisque l'énergie nécessaire à l'amorçage n'est pas apportée par la chaleur mais par un photon. La cinétique de la photodégradation des matériaux polymères est déterminée par différents paramètres tels que la température, la pureté du polymère, l'épaisseur ou la section du matériau et la présence d'agents anti-UV.

Lorsque les matériaux polymères sont exposés au rayonnement UV, ils peuvent se dégrader en raison de l'absorption de l'énergie lumineuse par des groupes chimiques présents soit dans leur structure moléculaire, soit dans les additifs ou les impuretés. Cette absorption du matériau peut provoquer la scission des chaînes moléculaires et la création de radicaux libres.

La progression de la photodégradation dépend de la perméabilité du polymère à l'oxygène : elle est très faible dans les parties cristallines, faible dans les parties amorphes et élevée dans les parties caoutchoutique (Verdu 2002a; Verdu 2002b). Généralement, la photo dégradation se manifeste dans un premier temps à la surface directement soumise à l'action du rayonnement et de l'oxygène. Dans le cas des fibres polymères synthétiques, le rapport surface/volume est très élevé; le phénomène de la photo dégradation est donc très important. De plus, l'efficacité des agents anti-UV déposés à la surface du matériau peut être diminuée par son extraction lors du lavage.

I1.2.3 Vieillessement hydrolytique des polymères

On connaît depuis longtemps les effets d'un milieu humide sur la corrosion des métaux, mais en ce qui concerne les matériaux polymères, les effets sont moins bien connus car ils peuvent se manifester de différentes manières et à long terme sur plusieurs années.

II.3 Les types de vieillissements d'un polymère

Il existe deux catégories de vieillissement, le vieillissement physique et le vieillissement chimique

II.3.1 Vieillessement physique

Ce type de vieillissement correspond à tout processus conduisant à une modification des propriétés d'utilisation du matériau sans qu'il y ait modification de la structure chimique de ce dernier. Il englobe les phénomènes de vieillissement sous contrainte mécanique, les phénomènes de relaxations, les phénomènes liés au transfert de masse (pénétration de solvants, migration d'adjuvants) et les phénomènes de surface.

II.3.1.1. Vieillessement par transfert de masse

La figure II.1 schématise la pénétration d'un solvant dans un système polymère lors de la diffusion du solvant entre les molécules du solvant et les macromolécules en détruisant des liaisons intermoléculaires.

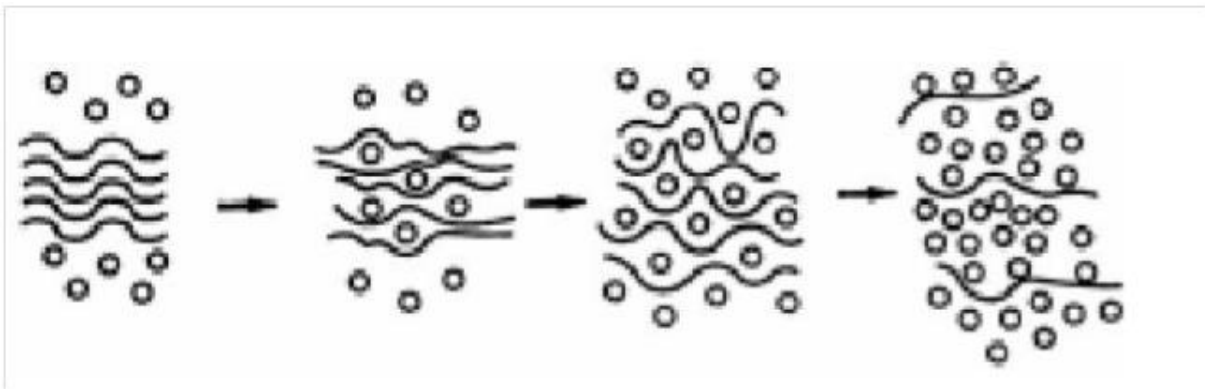


Figure II.1: Schématisation de la pénétration d'un solvant à l'intérieur d'un système polymère

II.3.1.2. Phénomènes de transport

Les phénomènes de transfert de masse font essentiellement appel aux notions de solubilité, de diffusion et de plastification.

II.3.1.3. Vieillessement thermique

La température est l'un des facteurs déterminant de la dégradation, plus l'énergie thermique apportée est élevée plus une déstabilisation se produit au sein du polymère [4].

II.3.1.4. Vieillessement thermo-oxydant

C'est l'effet d'un couplage entre la température et l'oxygène. Le phénomène d'oxydation dépend fortement de la température à laquelle se produit l'oxydation en comparaison avec les températures de transitions vitreuses [5,6].

II.3.1.5. Vieillessement mécanique

Un apport d'énergie d'origine mécanique peut affecter le système, plus exactement; une destruction chimique apparaît sous une contrainte mécanique. Il est très difficile de cerner cette dégradation car des contraintes existent toujours comme lors de l'extrusion du polymère ou ce sont des causes mal définies.

II.3. 2. Vieillessement chimique

Il correspond à tout phénomène impliquant une modification chimique du matériau sous l'influence de son environnement d'usage. Dans la pratique, ce vieillissement se superpose le plus souvent au vieillissement physique et les deux phénomènes interfèrent. Le vieillissement chimique comprend [7].

Le vieillissement naturel est le résultat de l'exposition du matériau aux différents agents Climatiques (Tab. II.1)

Agent	Phénomène
Rayonnement Solaire	Photo dégradation
Température	Thermo oxydation,(Migration d'adjuvants)
Oxygène et Ozone	Oxydation
Humidités et Pluie	Hydrolyse, Lavage, Gonflement différentiel
Neige, grêle et sable	Contraintes mécaniques, Micro fissurations, Chocs
Vent	Contraintes mécaniques, Stress dynamique

Tableau. II.1 : Principaux agents climatiques influençant le vieillissement naturel [8,9]

➤ Le Rayonnement solaire:

Le photon est la particule élémentaire du rayonnement électromagnétique. Ce dernier comprend aussi bien la lumière visible que les ondes radios ou les rayons X [10]. Un

rayonnement est caractérisé par sa longueur d'onde, sa fréquence, son énergie et son intensité [11]. Le photon peut avoir des énergies très différentes. A chaque énergie qu'il peut prendre est reliée une longueur d'onde qui lui est inversement proportionnelle. L'ensemble des longueurs d'ondes du rayonnement électromagnétique permet de définir le spectre électromagnétique représenté par la (Fig-II.2).

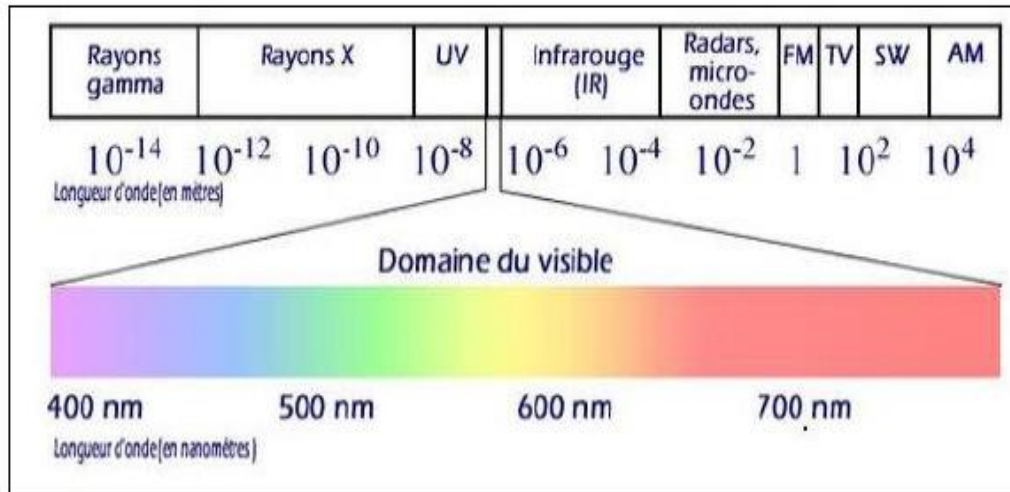


Figure .II.2 Le spectre solaire

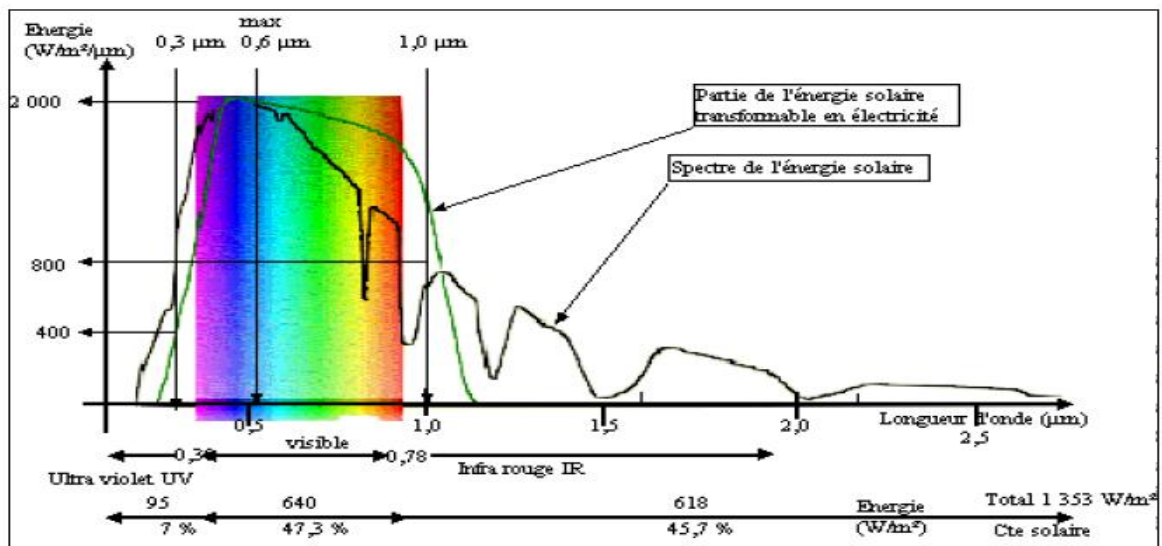


Figure. II.3- Energie solaire en fonction des longueurs d'ondes

D'après la (Fig.-II.3), 9% de l'énergie du rayonnement solaire se trouve dans la bande des ultraviolets < 0.4 μm, 47% dans la bande visible 0.4 à 0.8 μm et 44% dans la bande des

Infrarouges > 0.8 μm , on voit bien que la partie de l'énergie solaire max transformable en électricité correspond au domaine visible [12].

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) définit trois zones spectrales dans le domaine ultraviolet : UV-A, UV-B, UV-C (Tab.II.2).

La plupart des processus photochimiques conduisant à la photo dégradation des matériaux ont pour origine l'absorption des photons du domaine proche UV situé entre 290 et 400 nm. Cette zone spectrale est soumise à de fortes variations d'intensité selon la latitude, la pollution atmosphérique, la saison. Ainsi en hiver, l'intensité du rayonnement UV est plus faible qu'en été. Si le rayonnement UV est responsable de la plupart des altérations de surface, la lumière visible apporte également sa contribution à la photo dégradation des matériaux colorés comme le bois. Ce point revêt une importance particulière dans le cas où une finition transparente est appliquée.

L'interface sera sensible à la photo dégradation aboutissant à une faible pérennité de l'aspect coloré initial du bois.

Bande UV	Propriétés
UV-A-400-315nm	Responsables de quelques dégradations des polymères. Sont transmis par les vitres. Interviennent dans les expositions intérieures.
UV - B 315-280 nm	Responsables de la plupart des dégradations des polymères. Longueurs d'onde les plus basses rencontrées dans le spectre solaire atteignant la terre.
UV - C Sous-280 nm	N'atteignent pas la surface terrestre. Caused des dégradations qui ne sont pas rencontrées en vieillissement climatique.

Tableau. II.2: Propriétés des rayonnements UV-A, UV-B et UV-C [13]

Par ailleurs, l'exposition de ces matériaux aux radiations UV provoque la formation de radicaux libres qui vont réagir avec les chaînes de polymère et l'oxygène présent d'où une photo oxydation.

Ainsi, les radiations lumineuses, et surtout la lumière UV amorcent le processus de vieillissement.

En effet, d'après la première loi de la photochimie, les changements photochimiques induits sont effectifs après absorption de photon qui conduit à des états excités.

Chaque photon absorbé active une macromolécule ou chromophore (Ch) dans leur état fondamental S_0 (tous les électrons ont des spins appariés). Ainsi, des états singuliers excités (S_1) sont générés. Des états triplets T_1 sont alors formés à partir de S_0 par absorption de lumière ou à partir de S_1 par conversion inter système (CIS). S_1 et T_1 sont tous les deux les espèces qui induisent le processus photo physique ou photochimique de la photodégradation des polymères.

Ceci fait la différence entre la photodégradation et l'oxydation thermique qui se produit à partir de l'état fondamental S_0 . Ce processus est dépendant de la nature de liaison, de l'énergie de dissociation et du seuil de longueur d'onde en dessous duquel la liaison casse. Le tableau suivant (Tab. II.3) donne l'énergie de dissociation nécessaire et le seuil de longueur d'onde en dessous duquel la liaison correspondante casse [13].

Liaison	Energie de dissociation (Kcal/gmol)	Seuil de long. d'onde en dessous duquel la liaison casse (nm)
C-N	72.8	392.7
C-Cl	81.0	335.0
C-C	82.6	346.1
S-H	83.0	344.5
N-H	85	336.4
C-O	85.5	334.4
C-H	98.7	298.7

Tableau.II.3 Seuil de longueur d'onde UV pour rupture de diverses liaisons [13]

➤ **La température :**

La température est l'un des principaux facteurs de détérioration à long terme du polyéthylène, son action est accentuée par les variations de température entre le jour et la nuit [12], les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre qui peut dépasser 30 °C [11], la température de la charpente métallique qui peut atteindre 70 °C [9].

➤ **L'oxygène et l'ozone :**

L'action de l'oxygène est déterminante sur la dégradation des polymères. Dans le cas du PE, l'oxygène attaque les doubles liaisons résiduelles et participe à la photodégradation et à la thermooxydation du matériau. L'ozone agit de manière identique avec un pouvoir oxydant supérieur.

➤ **L'eau (Humidité)**

L'effet de l'humidité, toute phase confondue, peut causer des dégradations chimiques ou physiques au cours d'une exposition. La durée et la fréquence des périodes d'humidité, les changements de taux d'humidité de l'air sont à considérer comme des variables du processus de vieillissement. L'action de l'eau sur les polymères est tout aussi complexe que celle des UV [13].

La pluie n'est pas la source principale d'humidité contrairement aux idées préconçues que nous pourrions avoir mais c'est la condensation. Pour que de la rosée se dépose à la surface des matériaux, cette dernière doit avoir une température inférieure à celle de l'air ambiant et plus particulièrement inférieure à la température de point de rosée de l'air [14].

Il est ainsi possible d'avoir des taux d'humidité relative de l'air de 98% sans formation de rosée, le matériau et l'air étant à la même température. Par contre, une humidité de 70% d'un air à 20°C peut entraîner un dépôt de condensation pour une différence de température de 5°C entre air et substrat.

La rosée est aussi reconnue comme étant saturée en oxygène. Elle joue donc le rôle de vecteur d'oxygène en l'amenant en contact étroit avec la surface du matériau.

➤ **La neige, la grêle et le sable :**

L'accumulation de la neige sur la partie supérieure de la serre conduit à un stress mécanique, tandis que la grêle peut provoquer des ruptures prématurées du matériau.

Si la neige, dans les régions du sud de la méditerranée n'est pas un problème majeur, il n'en est pas de même pour la grêle et encore moins pour les tempêtes de sables.

A ce propos il est intéressant de noter que l'action du sable, est pratiquement absente, aussi bien dans la normalisation que dans la littérature scientifique. Ce vide est, probablement dû à la localisation du phénomène dans des zones particulières, renommées non exploitables et assez loin des préoccupations des décideurs économiques mondiaux [1].

➤ **Autres facteurs**

D'autres phénomènes vont intervenir dans le vieillissement du matériau de couverture, d'une manière plus ou moins directe, permis eux :

1. La géométrie et l'orientation de la serre [14]
2. Les polluants atmosphériques gazeux tels que NO₂, SO₂ [2]
3. Les pesticides et les produits agrochimiques, etc.

Le processus des intempéries comprend l'action de tous les éléments climatiques en plus des radiations solaires et la combinaison de plusieurs facteurs produit un effet plus important que la somme des effets individuels. Parmi les travaux effectués récemment sur le sujet nous avons relevé quelques –uns, pour leurs intérêts :

Al Madfa et al. Montre que, lors du vieillissement naturel, les propriétés mécaniques du polyéthylène sont améliorées durant les premiers mois d'exposition et qu'au-delà ils s'effondrent de manière significative [6]. Les résultats obtenus, après le vieillissement naturel de 15 ans, par K.Moller et al. Pour un film de polyéthylène stabilisé, utilisé comme protection contre l'humidité, montrent que le polymère lui-même n'est pas affecté dans sa structure mais que c'est essentiellement l'antioxydant qui est désactivé [13]

II.3. 4 Vieillessement artificiel :

Le vieillissement artificiel permet de séparer les causes de la dégradation et de déterminer ainsi la part de responsabilité de chaque agent [12].

Les études portent en général sur l'accélération ou l'amplification des aspects suivants [10]

Le vieillissement thermochimique qui correspond à tout vieillissement chimique en atmosphère inerte (thermolyse) ou dans l'air (thermoxydation), dont la cinétique dépend essentiellement d'un paramètre externe qui est la température.

Le vieillissement photochimique c'est-à-dire le vieillissement résultant de l'exposition directe au rayonnement solaire. L'acte primaire de tout processus photochimique est l'absorption d'un photon. Cette absorption va amener l'espèce absorbante A à l'état excité [A]*, c'est-à-dire à un niveau électronique d'énergie plus élevée. La grande majorité des polymères n'absorbent pas dans l'UV c'est-à-dire à des longueurs d'onde supérieures à 300nm.



avec hv: l'énergie du photon

Le vieillissement hydrolytique s'accompagnant d'une hydrolyse, entraîne des coupures statistiques des chaînes macromoléculaires du polymère, d'où une altération, à terme, des propriétés mécaniques. La réaction est généralement très lente à température ambiante, la vitesse de l'action chimique élémentaire étant elle-même faible et le processus étant le plus souvent contrôlée par la diffusion (également lente) de l'eau dans le matériau.

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié les propriétés physicochimique du polyéthylène basse densité et les différents types vieillissements (naturel et artificiel), on conclut que on

peut dire que le polyéthylène basse densité est un matériau adapté pour les serre agricole et les différents vieillissements créent une dégradation sur le film utilisé comme couverture de serre agricole.

Références Bibliographiques du Chapitre II

- [1] Verdu, J. (1984). "Vieillessement des plastiques." Afnor technique ISSN 0297-6714.
- [2] GHERARDI B., Organisation multiéchelle et stabilité colloïdale de suspensions d'argiles organophiles en milieu organique. Thèse chimie-physique: Université d'Orléans, 160, (1998).
- [3] Antoine Congieras « Mise au point d'un milieu solide inerte pour l'étude de la biodégradation des polymères dans le composte». Thèse, Université de Reims Champagne Ardenne.(2005).P 65.
- [4] X Collin "Modélisation Cinétique de la Thermo oxydation de Matériaux Polymères et Composites à Hautes Performances Thermomécaniques".Thèse ENSAM.(2001).
- [5] J. Verdu, "Vieillessement physique", Techniques de l'ingénieur,(1980).
- [6] C. Menguy, "Mesure des caractéristiques des matériaux isolantssolides", Techniques de l'ingénieur, D 2310, D2II, (1997).
- [7] Livre Verdu 2002b
- [8] ZWEIFEL H. Stabilization of polymeric materials. Springer-Verlag Berlin andHeidelberg, (1997). 169.
- [9] SCOTT K.P. Accelerated weathering test, correlation study. Atlas Sun spots, 26,(1996),1
- [10] Yacine Marouf « Modélisation des cellules solaires en InGaN en utilisant Atlas Silvaco » Magister en Electronique, Option Signaux et communications, Université Mohamed Khider, Biskra 2013.
- [11] Dr. A. Benhaya, cours « Eléments de Physique et Technologie des Dispositifs semi-conducteurs » 4^{ème} Année Ingénieur en Electronique : Option Instrumentation Tec 594, 2010/2011.
- [12] GROSSMANN P.R. Connaissez votre ennemi : le temps et comment le Reproduire en laboratoire. Galvano-organo-traitements de surface, 607, (1990) 569.
- [13] Bouguenna Ibrahim Farouk, « Modélisation et Optimisation d'une Cellule Solaire Tandem a-Si:H/a-SiGe » Thèse de Magister, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 2009.
- [14] K. Djakhdane , 2016, « Etude du vieillissement artificiel des films multicouches utilises comme couverture de serre agricole », thèse de Doctorat en sciences, Univ. SBA Algérie.

CHAPITRE III :
CONDITIONS CLIMATIQUES-PLASTICULTURE-
MATERIELS ET METHODES

III.1 Conditions climatiques

III.1.1. Introduction

En général, sur le globe terrestre, les climats se divisent en trois types ¹: les climats tropicaux, les climats tempérés et les climats polaires. Les premiers sont caractérisés par la chaleur tandis que les climats polaires sont connus pour leur froid. Les seconds sont entre les deux.

Dans chaque type, on distinguera des nuances suivant si les pluies sont fortes (climat humide) ou faibles (climat sec ou aride). Le climat tropical aride est très sec se caractérise par ses pluies rares et ses fortes températures : il fait plus de 20°C toute l'année.

Dans des climats tempérés, qui nous concernent, il existe trois nuances de climats : le climat océanique, le climat continental et le climat méditerranéen. Comme son nom l'indique, le climat océanique est influencé par la proximité de l'océan. Le climat continental est marqué par des étés chauds et orageux et des hivers froids et plutôt secs. Le climat méditerranéen se rencontre sur les bords de la mer Méditerranée. Il est influencé par les vents chauds venant des Tropiques qui provoquent de fortes chaleurs en été. L'hiver est plutôt doux mais il peut être marqué par des phénomènes brutaux comme de violents orages [1,2].

III.1.2. Concept d'aridité

III.1.2.1. Définition

Selon Le dictionnaire Atlas, [3], le concept climatique « aride » signifie sec, privé d'humidité. Le terme renvoie à l'espace, et on parle de « zone aride ». Un climat aride est, donc, un climat où il y a de la chaleur et de la sécheresse. En outre, ce concept météorologique quand il renvoie à une référence temporelle, on parle, alors, de « période, année sèche ». Dans ce cas, il ne doit pas être confondu avec le terme « sécheresse » car l'aridité traduit des conditions climatiques caractérisées par le fort déficit et la faiblesse des précipitations qui sont évaluées en moyenne annuelle à moins de 250 mm d'eau par an

L'aridité a de fortes implications hydrologiques et édaphiques dont elle est indissociable.

¹Toutes les données relatives aux conditions climatiques que nous nous proposons de présenter ont pour source la station météorologique de Tiaret, située dans l'enceinte de l'aéroport AbdelhafidBoussouf à Bouchekif qui s'appuie, elle-même sur les données de la MERRA-2 (Modern-EraRétrospectiveAnalysais de la NASA.)[25].

L'insuffisance des précipitations s'accompagne d'un déficit important du développement des espèces végétales. Elle est, donc, la conséquence des conditions météorologiques [2].

Un climat aride se caractérise par une faible humidité et les températures élevées ce qui engendre de rares précipitations avec une pluviométrie annuelle relativement faible. Par conséquent, la végétation est discontinue et laisse de vastes étendues de roches ou de sol à nu et donne naissance à des terrains rocailleux, des steppes et des déserts (Fig. III.1).

Les zones arides, souvent exposées aux différents vents, sont dénuées de végétation d'où l'érosion et la pauvreté des sols qui en sont la conséquence de la raréfaction et l'adaptation des êtres vivants.

Les zones arides sont diverses et ce selon leurs sols, leur végétation, leurs équilibres hydriques et les activités humaines de ses habitants. C'est pour cela qu'on ne peut définir un terrain aride d'une façon précise. Néanmoins, les divers environnements sont qualifiés d'arides en fonction des précipitations et de la température qui s'y trouvent.

Le phénomène d'aridité est dû à la présence d'un air sec descendant et également le vent des grandes chaînes de montagne ainsi que, la chaleur qui empêche les précipitations et crée un climat sec.

Une région aride se caractérise par des contrastes climatiques et des différences de température, de saison des pluies et de degré d'aridité. Elle se caractérise, donc, par des insuffisances d'humidité dues au fait que l'évapotranspiration potentielle est supérieure aux précipitations annuelles. Alors, ce phénomène entraîne la réduction de la superficie totale couverte par la végétation suite au problème de l'érosion.

III.1.2.2. L'indice d'aridité

Selon De Martonne, (1923) [4], l'indice d'aridité est défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles :

$$\text{Indice d'aridité} = P / (T + 10) \dots\dots\dots (1)$$

L'indice d'aridité d'une zone aride correspond à une valeur comprise entre 5 et 10. En Algérie, les régions concernées comprennent la grande partie du Sahara où les précipitations annuelles sont inférieures à 250 mm.

L'indice d'aridité d'une zone semi-aride correspond à une valeur comprise entre 10 et 20. Ce sont essentiellement la région du sahel Ces régions, au mieux, reçoivent 500 mm d'eau par an.

L'indice d'aridité d'une région hyperaride correspond à une valeur qui est inférieure à 5. Ces régions correspondent à des déserts absolus où les précipitations annuelles sont inférieures à 50 mm par an [5],

Selon les statistiques avancées par The Weatherbase, statistiques [6], sur la superficie totale des terres mondiales, la zone hyperaride couvre 4,2 pour cent, la zone aride 14,6 pour cent et la zone semi-aride 12,2 pour cent. Ainsi, près d'un tiers de la superficie totale du monde est constituée de terres arides.

La même source qualifie une zone hyperaride selon son indice d'aridité qui est égal à 0,03 et selon les précipitations annuelles qui sont faibles, et dépassent rarement 100 millimètres.

Concernant une zone aride, l'indice d'aridité est compris entre 0,03 et 0,20. Tandis que pour les précipitations, elles sont extrêmement variables, avec des quantités annuelles allant de 100 à 300 millimètres.

Enfin, une zone semi-aride se caractérise par un indice d'aridité compris entre 0,20 et 0,50. La précipitation annuelle varie de 300-600 à 700-800 millimètres, avec des pluies d'été, et de 200-250 à 450-500 millimètres avec des pluies d'hiver.



Figure. III.1: Zone aride

III.1.2. Climat en Algérie : types et caractéristiques

Le climat de l'Algérie [1] est très varié et ce par rapport à sa grande superficie ; en effet, l'Algérie a été tout le temps qualifiée de « continent » ; le nord qui englobe le littoral et l'atlas tellien possède un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs mais avec des hivers doux et pluvieux. Alors qu'au Sud, en majorité un climat est désertique (le Sahara). Cependant entre ces deux types de climats, au centre particulièrement, existe le climat semi-aride, qui correspond à un climat méditerranéen avec une sécheresse aux influences montagnardes, un petit plus continental. Néanmoins, l'Algérie est un pays de la zone subtropicale où le climat dominant est chaud et sec [2].

Les précipitations sont caractérisées par une variation significative entre le Nord et le Sud et entre l'Est et l'Ouest. La pluviométrie annuelle décroît à mesure qu'on se dirige vers le Sud. Au Sud, les précipitations annuelles diminuent à moins de 100 mm, par rapport au Nord. Nous faisons remarquer que ces dernières années, l'Est algérien a été plus pluvieux que la région Ouest. Il existe de forts contrastes dans les températures avec des incidences sur la pluviométrie.

III.1.3. Climat à Tiaret

III.1.3. 1. Situation géographique de Tiaret

La ville de Tiaret est située à 1080 m d'altitude sur le mont du Ghezoul qui fait partie de la chaîne de l'Atlas tellien, boisé principalement par des variétés de cyprès et pin d'Alep. Elle est située à l'Ouest du Pays, la Wilaya s'étend sur une superficie de 20.086,62 km², elle est limitée par: Les Wilayas de Tissemsilt et Relizane au Nord; celles de Laghouat et El-Bayad au Sud; les Wilayas de Mascara et Saida à l'Ouest et à l'Est par la Wilaya de Djelfa[1].

Le relief de la Wilaya est hétérogène, on retrouve des zones montagneuses au Nord ; Au centre, les hautes plaines et au Sud, la zone steppique caractérisée par des espaces semi-arides [2].

III.1.3.2. Caractéristiques climatiques à Tiaret :

En général, le climat à Tiaret est de type continental, il est caractérisé par deux périodes principales : Un hiver rigoureux, avec une température minimale qui atteint, parfois, les moins trois degrés, accompagné par des chutes de neige et le verglas et un été très chaud et sec avec une température moyenne de 25°C. L'été dure plus de trois mois, du mois de juin au

mois de septembre, avec une température quotidienne moyenne de 30°C. En 2018, la température maximale a atteint les 44°C.

La période froide dure environ, quatre mois, du mi- novembre jusqu'au début du mois d'avril, avec une température quotidienne moyenne inférieure à 15°C.

La Wilaya de Tiaret reçoit en période normale 300 à 400 mm de pluie par an avec une fluctuation saisonnière de la pluviométrie allant de 157,1mm en hiver à 31 mm en été [2].

III.1.3.2. Les précipitations à Tiaret

Les précipitations de pluie mensuelles à Tiaret sont variables, elles dépendent des saisons comme c'est le cas des toutes les régions des hauts plateaux ; la saison les plus secs durs presque trois mois (juin, juillet et aout) et la probabilité de précipitation la plus basse avoisine les 2 %. Tandis que la saison connaissant le plus de précipitation dure presque huit mois, du mois de septembre au mois de mai, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à 14 % . La plus grande accumulation de pluie a lieu au cours du mois de février, avec une accumulation totale moyenne de 61 millimètres. (Le Centre Climatologique National (CCN), ONM 2012).

La quantité de neige à Tiaret ne varie pas considérablement au cours de l'année, restant à 1 millimètre tout au long de l'année.

Selon les statistiques de la NOAA² [1], les régions sahariennes caractérisées par un climat très aride enregistrent des précipitations moyennes annuelles qui varient entre 100 mm et 150 mm. Or, les précipitations annuelles enregistrées dans les hauts Plateaux ne dépassent pas la quantité de 200 à 400 mm de pluie. Au Nord, elles fluctuent entre 600 mm et 800 mm. La plupart des précipitations annuelles se produisent entre octobre et avril.

Il faut noter qu'à l'extrême Sud de l'Algérie, au Sahara, le climat y est également désertique, mais avec des précipitations rares : il est très sec et très ensoleillé tout au long de l'année. La chaleur y est intense en journée bien que les températures moyennes maximales des mois les plus chauds s'arrêtent à 35°C - 36°C avec des pics de 40°C. Les précipitations des pluies sont relativement importantes au nord du pays et elles atteignent jusqu'à 100 centimètres certaines années. Cependant, dans les hauts plateaux, elles sont moins abondantes,

².NOAA.gov.National Oceanic and Atmospheric Administration..

en particulier, ces dernières années. Les précipitations du mois estival sont inférieures au 1/3 du mois hivernal.

III.1.3.3. Les températures

Comme c'est le cas des régions des Hauts plateaux, à Tiaret, les variations de températures sont très significatives. Les températures sont variables selon les saisons mais aussi entre le jour et la nuit. En effet, les hivers sont très froids, la température atteint parfois les -5°C . Alors qu'en été, le thermomètre affiche parfois 45°C à l'ombre. La température moyenne annuelle à Tiaret est inférieure à 18°C .

Le climat en été est caractérisé par la chaleur et la sécheresse ce qui favorise le phénomène de l'aridité. Les 'étés, depuis quelques années deviennent de plus en plus torrides, les températures annuelles moyenne augmente progressivement ; en effet, pendant les journées estivales, les températures maximales avoisinent les 45°C . Cependant, durant les journées hivernales, en janvier et au début du mois de février, les températures maximales moyennes tournent autour de -5°C - 10°C . En automne, le climat à Tiaret est agréable, malgré la présence de quelques pluies orageuses. Or, les premières gelées apparaissent début novembre.

Données climatiques à Tiaret (climat méditerranéen à caractère semi-aride).

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne ($^{\circ}\text{C}$)	2,1	3,5	5,1	7	10,2	13,9	16,4	17,1	14,7	11	6,5	3,7	09,27
Température moyenne ($^{\circ}\text{C}$)	7,9	9,1	10,9	12,8	15,6	19,3	22	22,9	20,4	16,6	12,1	9,2	14,9
Température maximale moyenne ($^{\circ}\text{C}$)	13,6	14,7	16,7	18,5	20,9	24,7	27,5	28,6	26	22,2	17,6	14,7	20,48
Précipitations (mm)	30,6	31,4	25	29,6	21,2	13,8	05,8	02,1	13,2	24,8	45,5	55,2	298,8

Tableau III. 1 Source : Weatherbase, statistiques 2010-2016

III.1.3.4. L'humidité

Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les taux d'humidité à Tiaret varient selon les journées mais un niveau d'humidité

qualifié de lourd ou étouffant, ne peut excéder le 1 % ; il s'agit, donc, d'une valeur insignifiante par rapport à celles enregistrées dans les régions côtières et ce durant toute l'année.

III.1.3.5. Les vents

La vitesse moyenne du vent à Tiaret connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. Le mois d'Octobre est la période la plus venteuse de l'année, à Tiaret avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 15 kilomètres par heure. Les vents viennent le plus souvent du Nord, en été et de l'Ouest durant l'hiver. Il faut noter qu'au début du mois d'Octobre, nous assistons, ces dernières années, à des vents qui viennent du Sud sous forme de vents de sable.

III.2 Plasticulture

III.2.1. Généralités

La plasticulture est une technique de production agricole récente qui consiste à créer des conditions climatiques ou, en d'autres termes, des « saisons artificielles » pour la production de légumes et de fruits tout le long de l'année.

Cette technique utilise la matière plastique comme couverture des sols, elle utilise, en particulier, les films de polyéthylène (PE) dans la construction des serres.

Cette technique utilise d'autres moyens de couverture des sols que le films : les tuyaux pour l'irrigation en goutte-à-goutte , les films étirables pour le bande rôlage des balles de pailles et fourrages, , les pots et bacs utilisés en pépinières, et les bâches et sacs pour ensilage [1,7].

Au niveau historique, la plasticulture est née dans les années 50, suite à une idée qu'a eu un agriculteur qui, en ayant assez de renouveler le paillage de ses cultures de tomates, il a utilisé des bâches en plastique comme ouverture des sols et a eu de bons résultats au niveau des récoltes et depuis la plasticulture a pris une importance particulière dans l'agriculture.

La mondialisation et l'économie de marché imposées par les puissances économiques ont contraint notre pays comme tous les autres pays du tiers monde à penser à leur sécurité alimentaire en instaurant une véritable révolution technologique dans le secteur agricole dont l'enjeu majeur est la croissance de la production agricole.

Par ailleurs, la plasticulture est devenue indispensable pour les gouvernements qui doivent faire face aux problèmes de la démographie et du chômage. Pour les agriculteurs, cette technique représente une chance pour améliorer les rendements en utilisant moins de produits insecticides et en régulant leur consommation d'eau.

En Algérie, la plasticulture a été adoptée, ces dernières années, un peu partout dans toutes les régions du pays mais c'est au Sud, grâce au type de sols, aux terrains vastes et à la

III.2.2. Les serres

III.2.2.1. Définition

Par définition [1], une serre est « une structure close ou semi-ouverte translucide, en verre ou en plastique, soutenue par une structure métallique ou en bois, destinée en général à la production agricole. Elle vise à protéger les cultures vivrières ou de loisir des éléments climatiques, afin d'améliorer la production des plantes, d'en accélérer la croissance et de les produire indépendamment des saisons grâce à un gain de température par effet de serre sous la structure. ».

Une autre définition plus ancienne suppose que les serres sont « un lieu couvert où pendant l'hiver on *serre* les plantes qui ont le plus besoin d'être à couvert de la gelée » (Dictionnaire de l'Académie française).

Selon Dehbi A. (2008), l'origine de la culture sous serre remonterait du temps de l'ère romaine et c'est à la mémoire du français Olivier de Serres (1539-1616), agronome et écrivain du 17^{ième} siècle, que l'appellation « serre » a été utilisée pour décrire les abris protégés [8].

L'utilisation d'une serre suppose, essentiellement, à protéger les plantes et à favoriser la croissance des diverses cultures en créant des conditions climatiques plus favorables que le climat normal ou pour permettre les cultures dites « hors saison » [1].

L'unité de base d'une serre s'appelle une chapelle, plusieurs peuvent être construites côte à côte.

Les couvertures faites avec des films sont transparentes permettant de cultiver des plantes dans un environnement plus chaud ou mieux contrôlé qu'à l'extérieur.

Dans le but de cultiver et d'obtenir des récoltes toute l'année, que ce soit en pays froids ou tempérés, les agriculteurs peuvent chauffer la serre et installer les températures adéquates et les taux d'humidité nécessaires pour les plantes cultivées.

III.2.2.2 Types de serres

A. La serre d'agrément

Parmi les types de serres, nous évoquons les serres d'agrément qui se sont multipliées au XIX^e siècle ; elles étaient conçues pour abriter des collections de plantes exotiques dans des jardins destinées à aux riches villas de gens privilégiés de l'époque.

Même aujourd'hui, on peut visiter ces jardins dans les capitales du monde le jardin des plantes à Paris ou les serres royales de Laeken en Belgique ou le jardin d'essai à Alger ; on y trouve toujours des plantes rares et exotiques durant toute l'année.

B. Les serres souterraines

La fabrication de ce type de serre consiste à creuser dans le sol un toit incliné perpendiculairement à la hauteur du soleil afin de maximiser l'apport de lumière en saison froide et bénéficiant ainsi d'une bonne isolation thermique avec l'air extérieur. .

Cette technique s'est développée dans les années 1980 pour les régions montagneuses froides d'Amérique du Sud, cette méthode permet aux producteurs de maintenir un potager productif toute l'année, même dans les climats les plus froids [9].

C. La serre photovoltaïque

Comme son nom l'indique, cette technique utilise des panneaux solaires à l'intérieur de la serre pour produire de l'électricité pour favoriser le passage de la lumière pour les plantes.

D. La serre-tunnel

Il s'agit d'une autre forme de serre dont la structure est plus légère et recouverte de bâches plastiques résistantes aux ultraviolets et tendues sur des tubes métalliques arrondis. Ils sont constitués d'un ensemble de chapelles pour couvrir de plus grandes surfaces. Ils sont construits pour protéger des cultures précoces ou tardives des conditions climatiques extérieures défavorables.

III. 2.2.3. Fonctions des serres

Les films de serre utilisés en plasticulture ont pour but de créer des conditions climatiques adéquates pour obtenir un meilleur contrôle des conditions de culture. En effet, ils ont pour fonction fondamentale de protéger la culture des intempéries, en particulier la grêle et le froid. Ils sont utilisés pour optimiser les conditions de culture (lumière, température, et l'humidité) et créer un environnement idéal pour la croissance des plantes. Les fonctions principales des serres (Fig. III.2) sont :

- a. **Régulation des températures** des serres grâce à des moyens de chauffage manuels ou automatiques gérés par un ordinateur. A l'opposé, dans des régions chaudes, la température peut être diminuée au moyen de ventilateur qui extrait l'air de la serre pour créer une dépression permettant d'aspirer l'air extérieur qui pénètre dans la serre au travers des paillasons humides.
- b. **Fonction thermique** : conserver l'énergie thermique à l'intérieur de la serre et éviter les pertes thermiques. De plus réguler les températures car l'atmosphère chaude, humide et confinée de la serre peut favoriser des attaques parasitaires d'où l'utilisation des pesticides.
- c. **Fonction bloquante** : Eviter le dépôt de poussière sur les films, réguler les rayonnements UV et éviter les entrées d'insectes nuisibles.
- d. **Fonction diffusante** : Réduire les risques de brûlure des plantes, en transformant une partie de la lumière directe en lumière diffuse (cas du melon sur certaines périodes)- optimiser la photosynthèse au niveau de la plante.



Figure. III.2 : En plasticulture les films de serre sont utilisés en « chapelle » et grand tunnel.

III. 3 Matériels et Méthodes

III.3.1.Installation des serres

Afin de mener notre étude ayant pour objectif, l'étude du comportement des polymères utilisés dans le domaine agricole sous forme de films, nous avons installé deux serres au niveau d'un site libre, situé au niveau du pôle karmane (Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie) à l'Université Ibn-Khaldoun de Tiaret. Parmi les variétés des films commercialisés sur le marché national, nous avons opté pour deux catégories de polyéthylènes : le monocouche (PEbd) et le tri-couche (PEbd) AFS3 fabriqués par la société Agro-Film à Sétif en Algérie. Ces films, sont composés de couches de polyéthylène. Selon les caractéristiques données par le fabricant, les films contiennent différents additifs : des antis condensations, anti UV, anti parasites...etc. Les serres ainsi installées sont identiques et elles ont comme dimensions avec :

$$\text{Longueur (L)} = 14,5 \text{ m}$$

$$\text{Largeur (l)} = 08 \text{ m}$$

$$\text{Hauteur (H)} = 3.5 \text{ m}$$

$$\text{Surface de la serre (S)} = 198 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume de la serre (V)} = 279 \text{ m}^3$$

Les deux serres ont pour charpente, une armature métallique sur laquelle a été posée une couverture de film en polyéthylène et ce au début du mois de Mai 2015 selon les recommandations et conseils d'installation d'une serre que nous avons consultées sur le Web, en particulier celles relatives à l'orientation. Deux conceptions s'opposent sur ce sujet; Nord-Sud pour un maximum d'ensoleillement ou Est-Ouest pour une meilleure ventilation dans la serre. En ce qui nous concerne, nous avons opté pour la seconde qui privilégie la ventilation dans la serre.

En outre, il est recommandé de poser le film sur la structure de la serre par un temps doux entre 12 et 25 degrés afin que la couverture ne se tende facilement sans excès. De plus, lors de la pose, une bâche doit être tendue sans excès. Elle doit être plaquée sur les arceaux sans battre au vent, Aussi, il faut penser à garder de l'espace près de la serre pour effectuer le montage aisément. Le sol de l'emplacement doit toujours être totalement plat, pour fixer la structure correctement à l'aide d'une embase. Pour finir, Il est essentiel d'avoir une porte, voire plusieurs, ainsi que des parois latérales obliques et fenêtres, pour créer facilement des courants d'air si besoin (Fig III.3)



Figure. III.3 : Installation d'une serre

III.3.2. Les appareils de mesure :

a) Les appareils de mesure à l'intérieur de la serre

Une centrale automatique d'acquisition des données de température et d'humidité de type LAMBRECHT a été également installée à l'intérieur de la serre(Fig.III.4).



Figure. III.4 : Centrale automatique de mesure de température et d'humidité.

a/1. La sonde thermoélectrique.

Pour mesurer la température de l'air à l'intérieur des serres, des sondes thermoélectriques à résistance de platine ont été utilisés; Il s'agit d'un thermomètre à

résistance de platine permettant de mesurer la température. Le dispositif est basé sur le fait que la résistance électrique du platine varie selon la température. Ces sondes présentent les caractéristiques suivantes :

Domaine : - 30 °C à +50 °C

Coefficient de température : 0.39 /°C

Temps de réponse : ~15 mn

Précision des mesures :

±0.30 °C à 00 °C

±0.45 °C à 50 °C

±0.60 °C à 100°C

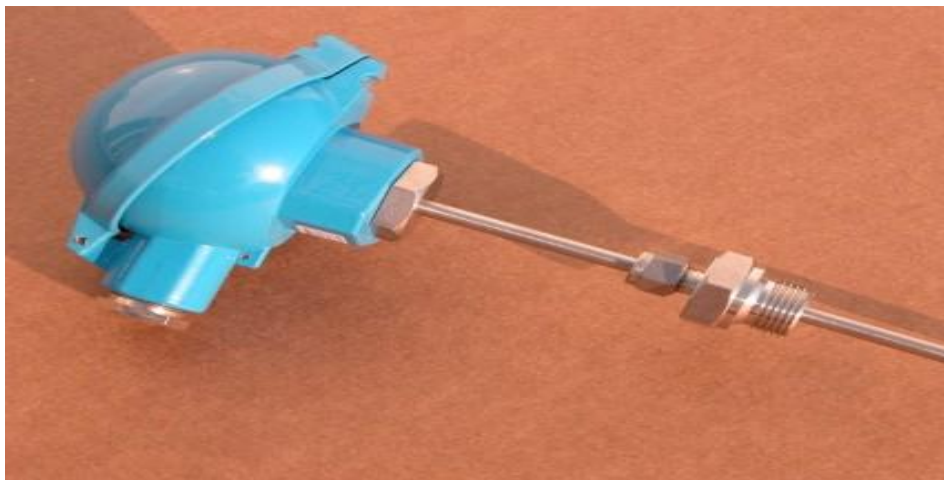


Figure. III.5: Sonde thermoélectrique à résistance de platine

a/2. Le psychromètre à ventilation

Pour mesurer l'humidité relative de l'air, un psychromètre à ventilation forcée a été utilisé (Fig.III.6). L'appareil est fabriqué conformément à la norme. Grâce à des mesures de températures de l'air sec et humide, ce psychromètre permet de déterminer avec une grande précision et fiabilité, l'humidité relative. Il est constitué de deux capteurs de température. La première mesure est celle de la température sèche de l'air (T_a) ; la seconde mesure est celle de la température à refroidissement humide (T_w). Dans le canal, où les deux capteurs sont logés à l'abri du rayonnement solaire ou d'autres natures, l'air est forcé par un ventilateur à une vitesse d'environ 4 m/s.



Figure. III.6: Psychromètre à ventilation forcée .

b) Les appareils de mesure à l'extérieur de la serre

A l'extérieur de la serre, les paramètres mesurés dans un abri météorologique conventionnel (Fig.III.7) sont :

- Températures sèches et humides de l'air.
- Température minimale et maximale de l'air.
- Humidité relative de l'air.
- Evaporation Piche.



Figure.III.7 : Abri météorologique équipé.

Le rayonnement global extérieur est obtenu et prélevé au niveau de la station automatique d'acquisition des données de l'Office National de la Météorologie (O.N.M.), implantée dans le même site expérimental.

La station agro-météorologique assure également les observations sur les paramètres suivants:

- Evaporation en bac classe A.
- Vitesse du vent.
- Températures minimale et maximale au niveau du sol.
- Températures dans le sol aux profondeurs 10, 20, 30 et 50 cm.

Afin de mettre en évidence l'effet des conditions climatiques (température et humidité) durant une période de 9 mois en jour et nuit de la zone dans laquelle nous avons installé notre serre, les instruments de mesure ainsi que les valeurs de ces deux paramètres sont représentées sur les figures III.8, 9 et 10.



Figures III.8: Instruments de mesure de l'humidité et de la température

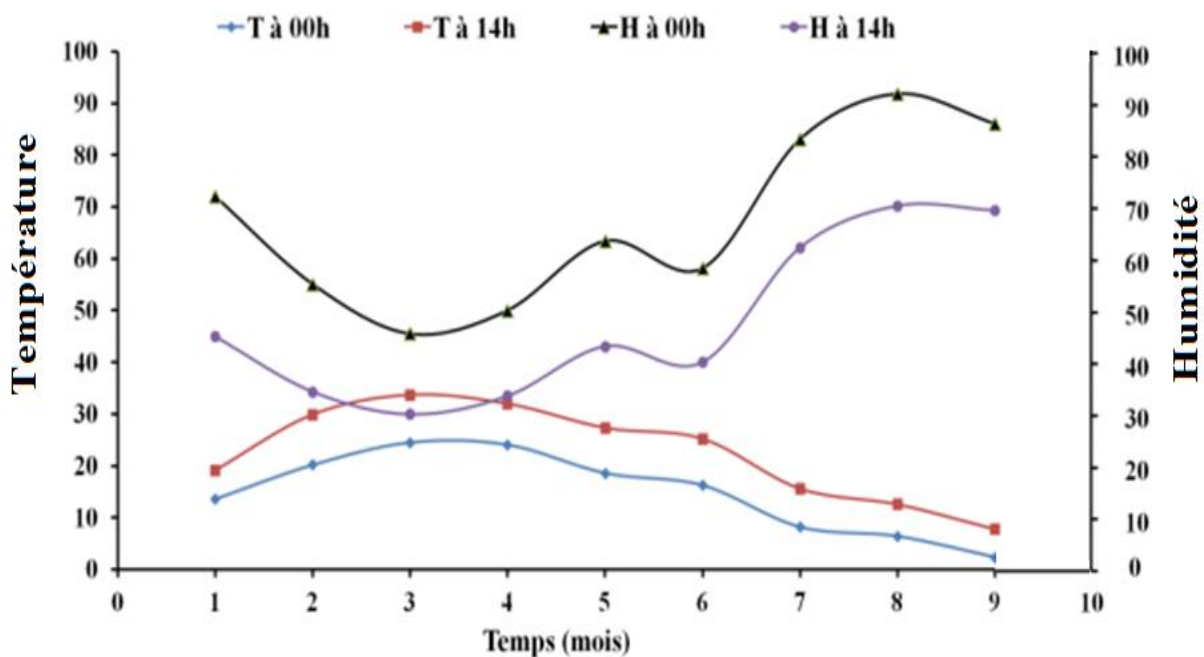


Figure III.9: Conditions climatiques de la région du Nord-Afrique entre Mai et Janvier (2016-2017)

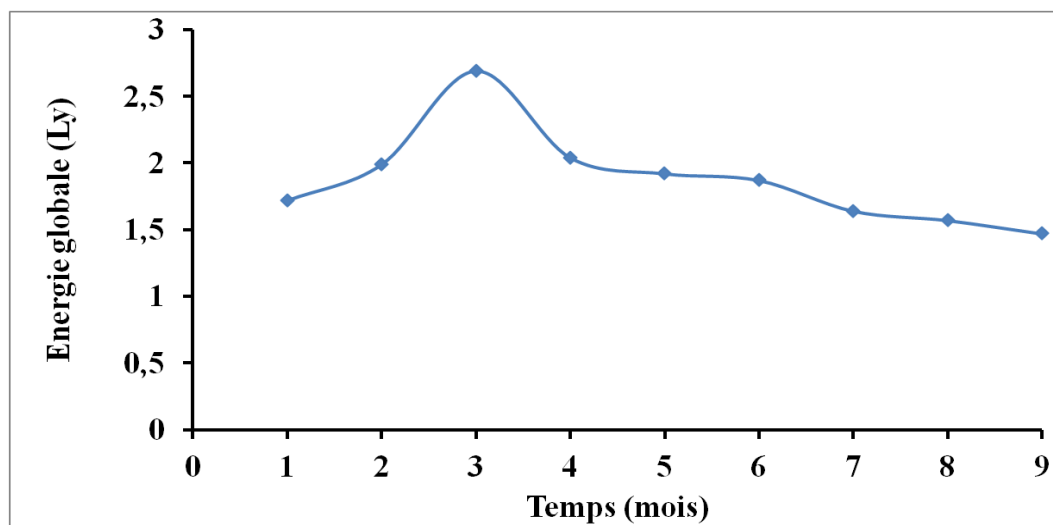


Figure III.10 : Energie globale

III.3.3. Suivi des comportements des films:

Les vieillissements physique et chimique des thermoplastiques se manifestent par une dégradation souvent irréversible de leurs propriétés physiques, chimiques ou même mécaniques. Ces phénomènes de dégradation provoquent dans la plupart des cas une perte de certaines propriétés et par conséquent une limitation de la durée de vie de ces polymères.

III.3.3.1 Essais de fluage

a) Généralités

Selon la littérature nous avons appris que pas mal de recherches sur le fluage des polymères, en particulier, sur les polyéthylènes ont été menées dans le cadre des recherches en sciences des matériaux et des sciences des polymères et se sont intéressés au comportement en fluage de plusieurs types de matériaux.

Presque l'ensemble des recherches a conclu que la déformation des matériaux en fluage augmente significativement selon le niveau de charge et selon les conditions de leur usage. L'objectif de notre étude expérimentale est d'obtenir une base de données sur le comportement en fluage en traction de deux types de polyéthylènes, le monocouche (PE) et le tri-couche (PEbd) afin d'en appréhender le comportement et d'évaluer l'évolution de la rigidité, de la résistance et des autres propriétés.

Il s'agissait d'observer et de comprendre le comportement à long terme des matériaux choisis par le biais d'essais de fluage dans les conditions climatiques et environnementales de la région de Tiaret, une région semi-aride et aride. L'approche consiste à analyser l'évolution de la géométrie des courbes des contraintes de déformation des matériaux en fonction des variables climatiques telles que la température et le vent par rapport à la vitesse de leur déformation.

b) Définition

Par définition, le fluage est « un phénomène caractérisant l'évolution des propriétés mécaniques d'un matériau au cours du temps, sous l'effet d'une charge constante. ». En d'autres termes, il s'agit d'un essai qui consiste à soumettre le matériau à une contrainte constante de traction ou de compression, inférieure à la limite d'élasticité du matériau, pendant une durée suffisante et à une température constante. En effet, lorsqu'on applique une charge sur une éprouvette de longueur initiale donnée, soumise à un effort constant (de traction par exemple), en fonction du temps, celle-ci se déforme instantanément. Si on maintient cette charge, de façon constante, pendant une longue durée (plusieurs jours), on constate que la déformation se poursuit et l'allongement se prolonge jusqu'à la longueur finale donnée.

c) Procédure

Les essais de fluage consistent à enregistrer la déformation des éprouvettes avec différents niveaux de contrainte et de charges. Les résultats obtenus sont fortement influencés par les conditions d'environnement ; dans le cas des polymères, les conditions climatiques, en particulier, la température, la vitesse du vent, la gelée sont déterminantes.

Un essai de fluage se pratique très généralement sous une contrainte inférieure à la limite d'élasticité macroscopique du matériau. La courbe de fluage permet généralement de différencier les stades de fluage avant la rupture.

Les courbes de fluage représentent la variation de l'allongement en fonction du temps. Leur aspect général est schématisé sur la (Fig. III.11).

- La courbe n°1 est caractéristique du fluage logarithmique qui se manifeste aux températures relativement basses ($T < 0,3 T_f$) et ne conduit pas à la rupture.
- La courbe n°2 est relative au fluage restauration ($T > 0,3 T_f$) très largement gouverné par des processus de diffusion.
- La courbe n°3 correspond au fluage visqueux (ou fluage Nabarro), observé au voisinage de la température de fusion pour des contraintes faibles.

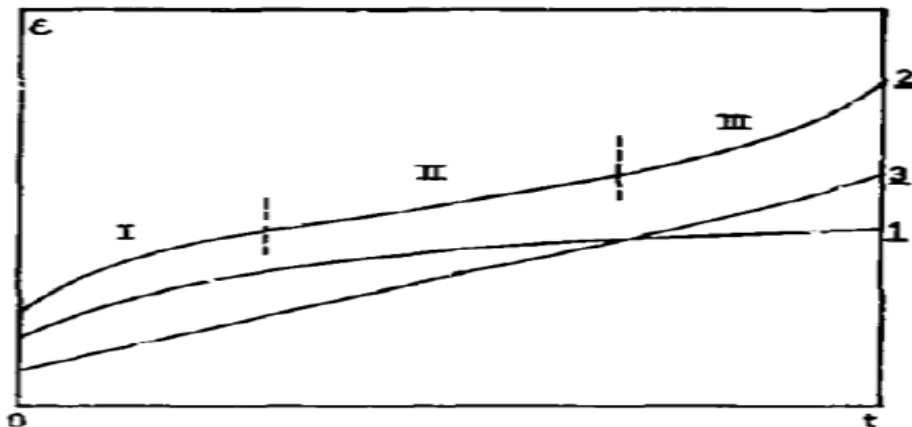


Figure.III.11 : Courbes de fluage

d) Diagramme typique de fluage

Typiquement, le fluage des matériaux présente trois phases : le fluage primaire, pendant lequel la vitesse de déformation décroît continûment, le fluage secondaire, à vitesse de déformation minimum, et enfin le fluage tertiaire pendant lequel la vitesse de déformation augmente jusqu'à la rupture de l'échantillon. La (Fig. III.12) présente une courbe type d'essai de fluage [10].

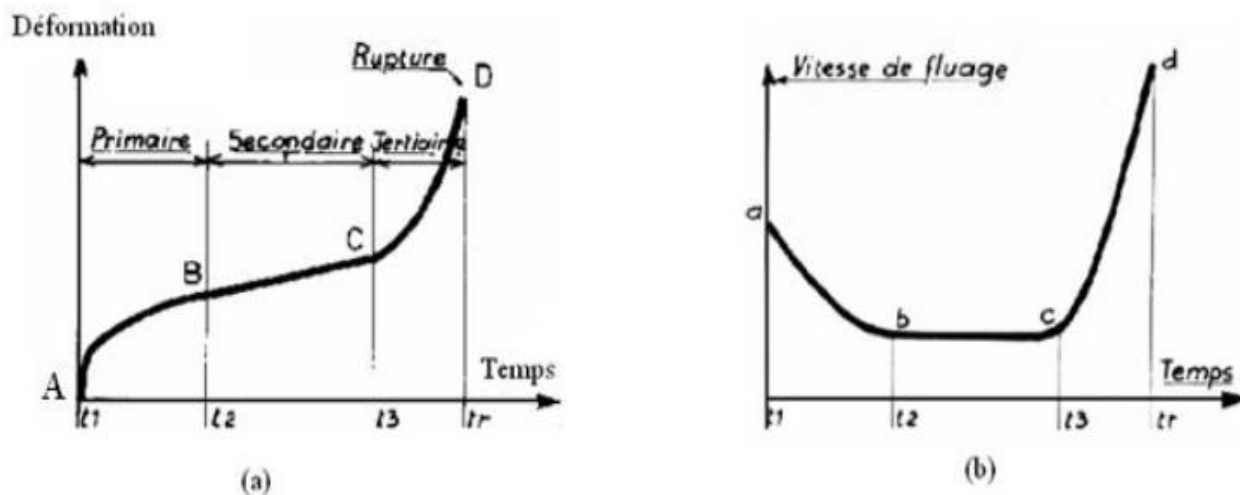


Figure III.12 : (a) Allure générale d'une courbe de fluage, Evolution de la déformation et (b) la vitesse de déformation en fonction du temps

Dans cette partie de notre étude nous avons utilisé les dispositifs représentés sur la figure III.13 sur des échantillons prélevés à des moments bien déterminés et avec des formes régulières et prédéfinies au préalable (Figure III.14).



Figure III.13 : Instrument de mesure



Figure III.14 : Echantillons de films monocouche et tricouche

III.3.3.2 - Essais de traction

L'essai de traction est caractérisé par sa facilité de mise en œuvre et est utilisé afin de déterminer le comportement mécanique d'un matériau. En effet, il s'agit d'exercer une force

de traction sur une éprouvette standardisée, jusqu'à sa rupture, en suivant un processus de mise en charge à une vitesse de déformation constante. L'éprouvette est prélevée dans le matériau à étudier à des dimensions normalisées, afin d'assurer une meilleure comparaison des essais effectués en établissant un diagramme contrainte-déformation et définir les caractéristiques du matériau qui déterminent son vieillissement telles que sa résistance, sa rigidité, sa ductilité ou/ et sa ténacité (Fig.III.15).

Si l'essai de fluage consiste à appliquer une force F sur l'éprouvette que ça soit en traction ou en compression et à mesurer son allongement ou sa réduction en fonction du temps, l'essai de traction mesure la vitesse de déformation qui est appliquée sur l'échantillon.

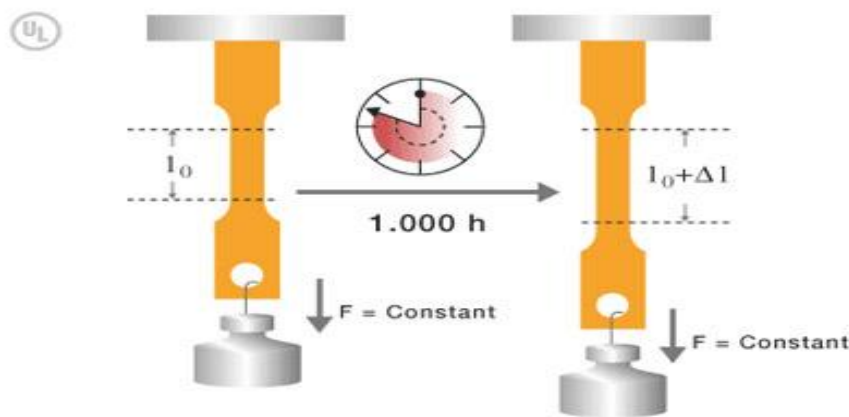
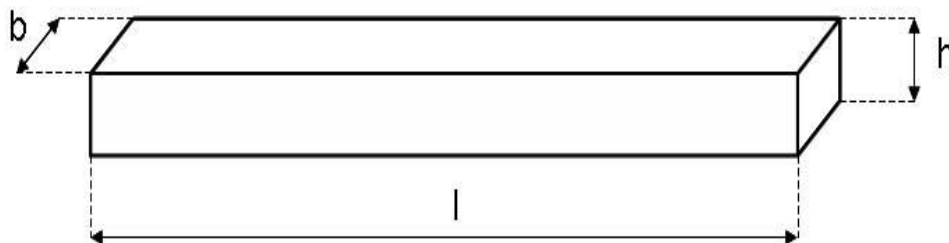


Figure.III.15: Essai de fluage en traction

Les dimensions des éprouvettes pour essais de flexion des thermoplastiques sont normalisées selon des normes (Fig.III.16). L'application d'une force provoque initialement une déformation élastique de l'éprouvette. Cela se traduit sur le diagramme par une droite. Cette déformation élastique est réversible. En effet, si la contrainte est annulée, l'éprouvette revient instantanément à sa forme initiale. Cette déformation élastique est suivie d'une déformation irréversible appelée déformation plastique.



l = Longueur de l'éprouvette b = Largeur de l'éprouvette h = épaisseur de l'éprouvette

Figure III.16 : Forme géométrique de l'éprouvette

Norme	l (mm)	b(mm)	h(mm)
ASTM D790	> 80	$10 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$
ISO 178	> 80	$10 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$

Tableau. III.2: Les dimensions des éprouvettes normalisées

Dans notre travail, les essais ont été réalisés sur des échantillons du polymère selon le protocole illustré par les photos des figures III.17 et III.18.



Figure III.17 : Essais de traction au temps initial



Figure III.18 : Essais de traction au temps final

III.3.3.3 - La spectroscopie UV-Visible

Le principe repose sur la transition d'un état fondamentale vers un état excité d'un électron d'une molécule par excitation. Donc, le passage d'un état électronique à un autre état d'énergie plus élevée nécessite l'absorption d'un photon ($\Delta E = h\nu$). Dans l'état fondamentale, un atome ou une molécule se trouve dans son état de plus basse énergie, c'est-à-dire que tous les électrons sont réparties sur des orbitales atomiques.

Un spectrophotomètre comporte (Fig.III.19) une source constituée de deux lampes qui permettent un continuum d'émission sur toute la gamme de longueur d'onde UV-Visible. Un monochromateur qui permet de sélectionner des longueurs d'ondes et de faire un balayage.

Le faisceau de photons à la longueur d'onde sélectionnée traverse un miroir qui synchronise le mouvement du monochromateur puis le faisceau traverse l'échantillon et la référence et enfin un amplificateur permet de comparer l'intensité en sortie par rapport à l'intensité d'émission [11].

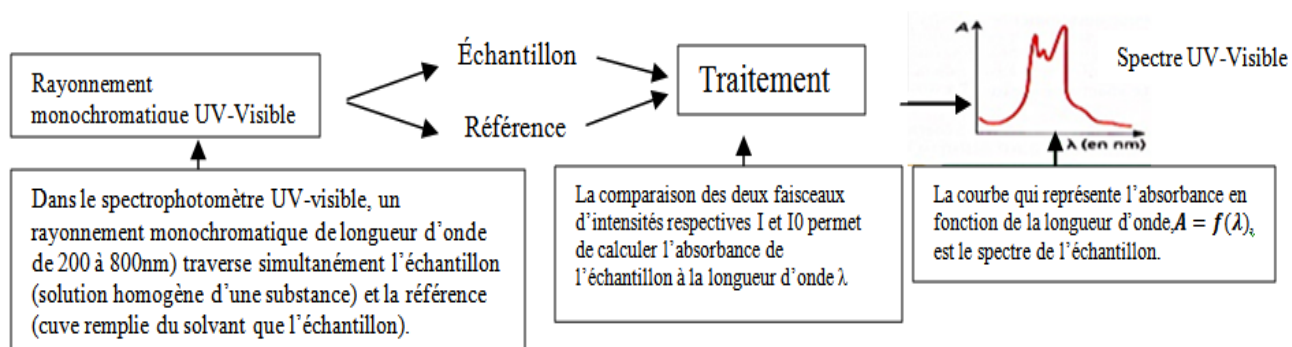


Figure.III.19: Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceaux de marque SHIMADZU (UV 1650 PC).

Les spectres de transmittance UV-visible des films de polymère étudié, ont été obtenus en utilisant un spectrophotomètre à double faisceau de marque SHUMADZU (UV-1650PC) au niveau de notre laboratoire de Génie Physique (Fig.III.20).



Figure.III.20 : Schéma de principe d'un spectrophotomètre à double faisceaux de marque SHIMADZU (UV 1650 PC).

III.3.4- La spectroscopie Infra-rouge

Il existe de nombreuses interactions entre un rayonnement infrarouge (IR) incident et une molécule. Un phénomène de résonance peut intervenir lorsque le rayonnement IR traverse la molécule. Si la fréquence de résonance du rayonnement est différente de celle des vibrations moléculaires rencontrées, la radiation n'est pas absorbée. Dans le cas contraire, la radiation cède son énergie et la molécule (ou partie de molécule) dont les atomes sont animés d'un mouvement de fréquence identique, absorbe cette énergie. A chaque mode de vibration correspond une fréquence propre qui est la signature d'une liaison chimique et de son environnement. Cette absorption se traduit par un accroissement de l'amplitude de la vibration de la molécule dans le réseau.

L'analyse s'effectue à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier qui consiste à envoyer sur l'échantillon un rayonnement IR et mesurer les intensités transmises pour chaque nombre d'onde le rapport des intensités, avec ou sans échantillon. L'excitation par l'infrarouge d'un des oscillateurs se traduit donc a priori, par l'excitation simultanée de tous les oscillateurs, aussi bien en élongation qu'en déformation. Tous les atomes de la molécule vibrent autour de leur position d'équilibre. Chacune de ces vibrations d'ensemble de la molécule est appelée mode de vibration [12].

Dans notre travail, nous avons utilisé un spectrophotomètre infrarouge FTIR au sein du laboratoire de Génie Physique de marque SHIMADZU 8400 (Fig.III.21.).



Figure.III.21 : Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

Les mesures de la transmittance par spectroscopie UV-Visible ainsi que celles de la spectroscopie infrarouge des films mono et tricouches ont été réalisées sur des échantillons prélevés après chaque mois. Ces échantillons sont photographiés et présentés sur les figures III.22 et III.23.

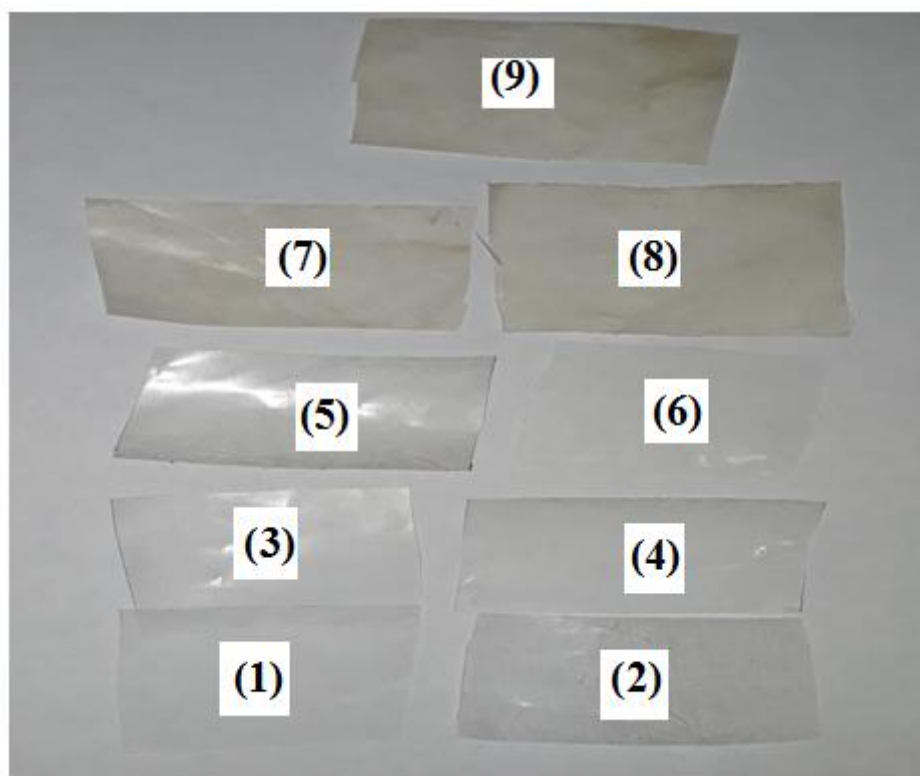


Figure III.22. Echantillons du film monocouche

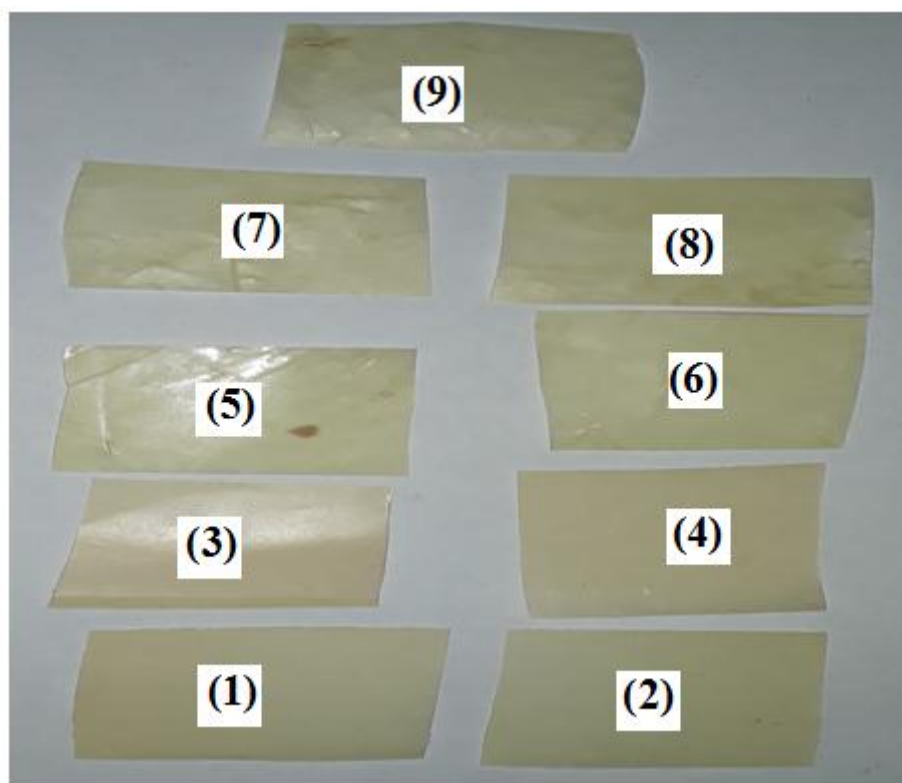


Figure III.23. Echantillons du film tricouches

Références Bibliographiques du Chapitre III

- [1] Dictionnaire Wikipédia en français ,*les polymères, Thermostabilité*
- [2] Le centre de climatologie de l'Algérie : Office national de meteorology
- [3] Le dictionnaire Larousse Atlas , 2000
- [4] E. DE MARTONNE, (1923), *Traité de géographie physique*, A. Colin , Paris.
- [5] DERRUAU, MAX. , 2010 *Les systèmes d'érosion des pays intertropicaux », Les formes du relief terrestre. Notions de géomorphologie*, Armand Colin, pp. 179-184
- [6] TheWeatherbase, statistiques, Word weather and climate information de 2010 à 2016, consulté le 20 / 01 / 2018.
- [7] M. BEDRANE, 2016, *La plasticulture en Algérie*, INA, Annales N° 03, El Harrach
- [8] DEHBI Abdelkader, 2008, « *Etude du vieillissement naturel et artificiel des films multicouches utilisés comme couverture de serre agricole* », thèse de Doctorat , Univ. D'Oran Algérie.
- [9] <http://planet-terre.ens-lyon.fr> : consulté le 22/ 04 / 2017.
- [10] Kurz W.K, Mercier J.P, ZAMBELLI G. : *Introduction à la Science des Matériaux*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, (1995).
- [11] S. Gorg ; *Ultraviolet-Visible Spectrophotometry in Pharmaceutical Analysis*, CRC Press, (2018).
- [12] D.I. Bower and W .F. Maddams; *The Vibrational Spectroscopy of Polymers*, Cambridge Solid State, Science series (1989).

CHAPITRE IV :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Résultats des essais de traction

IV.1.1 Monocouches

Le graphique de la figure IV.1 représente les courbes contrainte-déformation des éprouvettes monocouches élaborées pendant 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 mois.

En comparant ces courbes, nous pouvons dire que le matériau testé a un comportement élastoplastique. Ce type de comportement est caractérisé par une phase élastique suivie par une seconde phase plastique qui se poursuit jusqu'à la rupture.

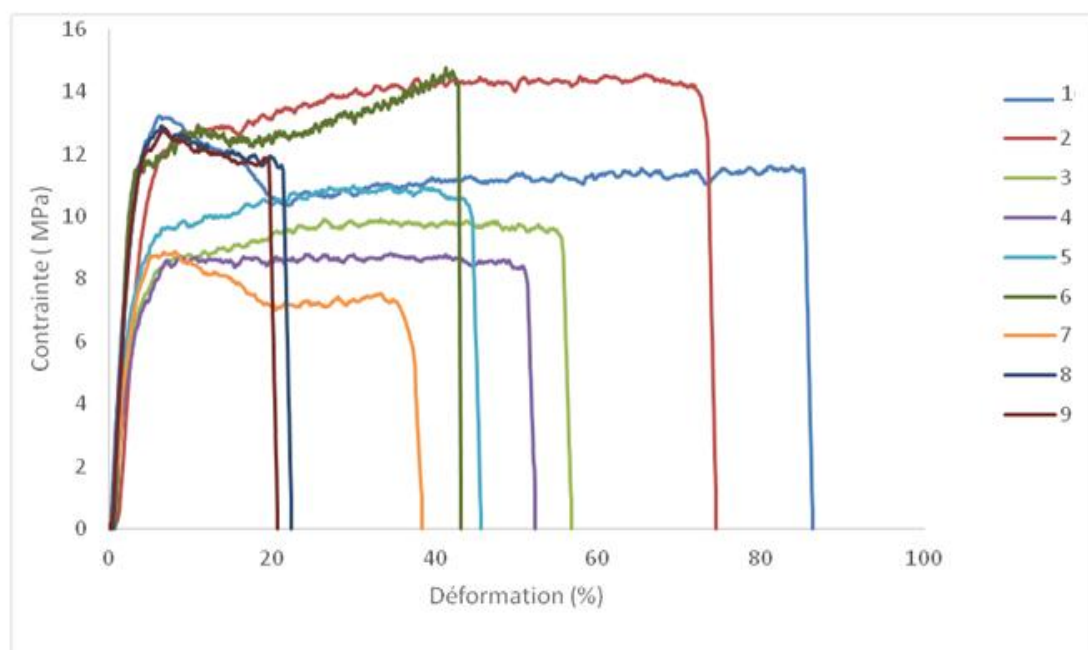


Figure IV.1 : Courbes contrainte-déformation (monocouches)

L'échantillon 2 présente la meilleure résistance à la traction. Elle est aux environs de 15 MPa. Les résultats des autres échantillons sont récapitulés sur le tableau suivant :

Échantillon	Limite d'élasticité en MPa	Résistance à la traction (résistance au déchirement) en MPa	Allongement après rupture en %
1 mois	13.25	11.5	85
2 mois	13	14	71
3 mois	9	9.5	55
4 mois	9	8	50
5 mois	10	11	44
6 mois	13	14.5	43
7 mois	8.8	7.3	35
8 mois	12.8	11.65	21
9 mois	12.75	11.87	19

Tableau IV.1 Résultats de : Limite d'élasticité, Résistance à la traction et allongement après rupture

Une dégradation de la résistance au déchirement (résistance à la traction) et une mauvaise aptitude à se déformer plastiquement (mauvaise ductilité) est à remarquer pour les échantillons 7, 8 et 9.

La meilleure aptitude à se déformer plastiquement (bonne ductilité = domaine plastique très important) est celle de l'échantillon 1. Cette ductilité diminue en passant de l'échantillon prélevé après 1 mois à l'échantillon prélevé après 9 mois. Donc, le temps influe considérablement sur cette propriété.

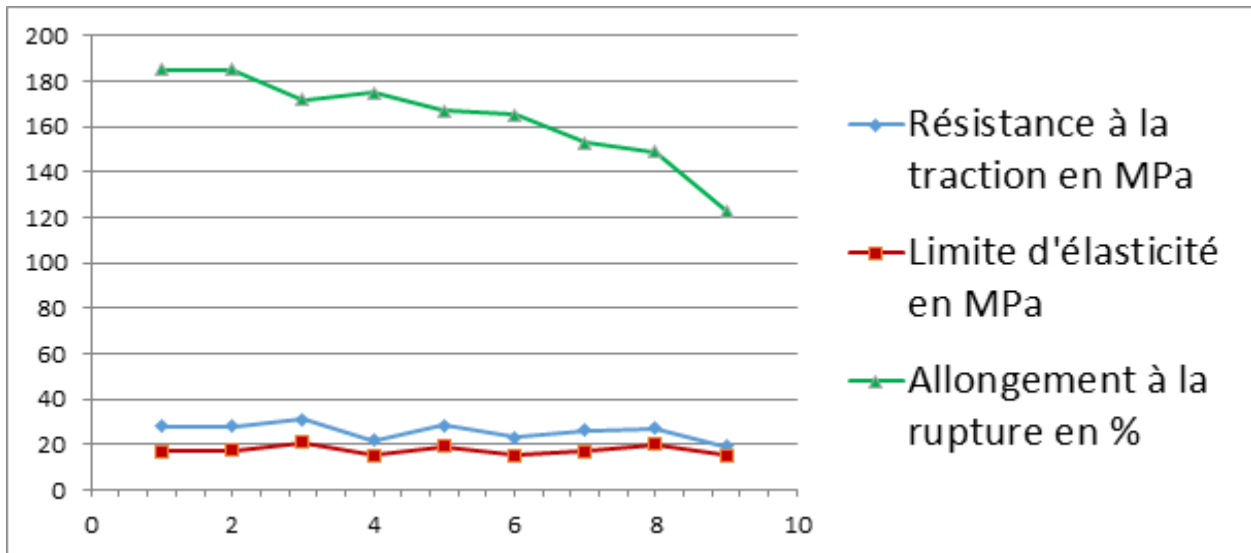


Figure IV.2 Résultats des essais de traction

IV.1.2. Tricouches

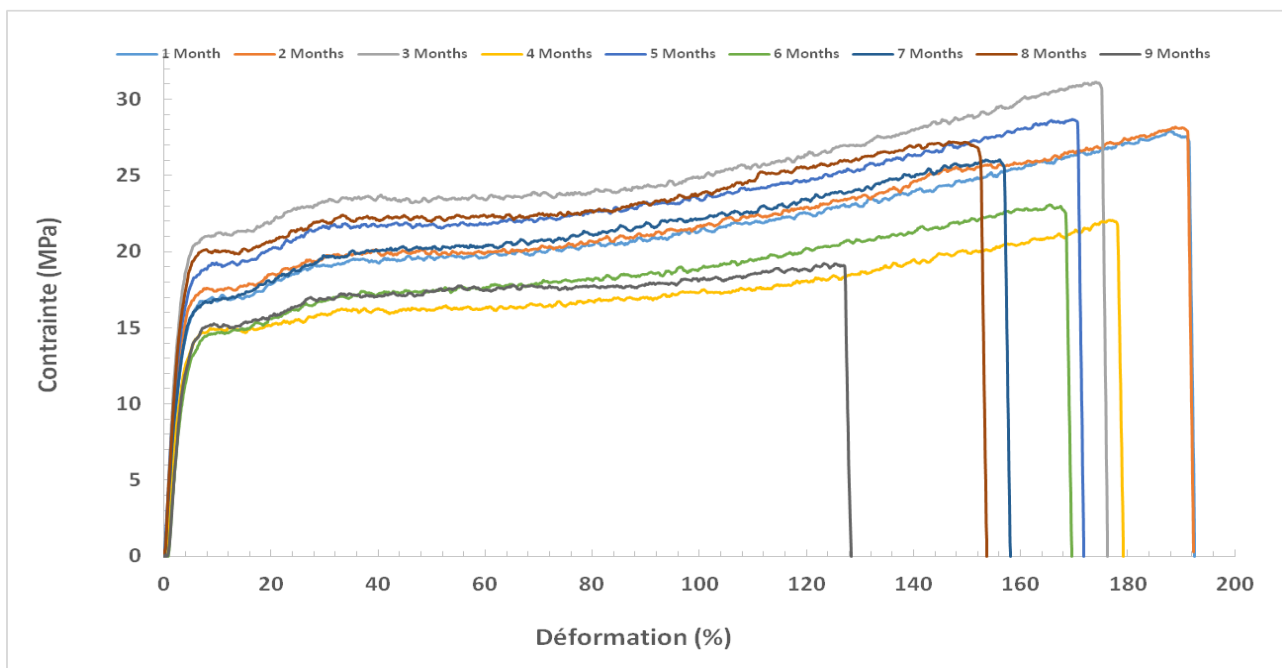


Figure IV.3 : Courbes contrainte-déformation (tri couches)

Les courbes de la figure IV-3, représentent la variation de la contrainte en MPa en fonction de la déformation relative en %.

Ces courbes mettent en évidence la présence de deux phases : Une phase linéaire qui représente la déformation élastique (réversible) du matériau. Elle est aux environs de 5 %. Une deuxième phase correspondant à la déformation plastique permanente et irréversible. Elle est variable de 130% à 190% selon les mois. Cette phase dure jusqu'à la rupture des éprouvettes.

La première partie (élastique) est caractérisée par une contrainte maximale, qui représente la limite d'élasticité du matériau élaboré. La partie plastique est caractérisée par une valeur maximale qui représente la résistance à la traction du matériau et pour laquelle le matériau sera rompu.

On remarque que les caractéristiques mécaniques en traction (limite d'élasticité, résistance à la traction, etc...) sont nettement supérieures pour le trilayers préparé pendant 3 mois. Il représente une limite d'élasticité de 21 MPa et une résistance à la traction de 31 MPa. Pour les autres courbes, ces propriétés sont présentées sur le tableau suivant :

	Limite d'élasticité en MPa	Résistance à la traction en MPa
3 mois	21	31
8 mois	20	27
5 mois	19	28,5
2 mois	17,5	28
7 mois	17	26
1 mois	17	28
6 mois	15	23
4 mois	15	22
9 mois	15	19

Tableau IV.2 : Valeurs mensuelles de la limite d'élasticité et de la résistance à la traction

On remarque aussi que, la ténacité ou l'énergie requise à la rupture (l'aire sous la courbe de traction) est plus importante pour la courbe du matériau élaborée pendant 3 mois que les autres courbes. À savoir que cette propriété augmente avec l'augmentation des propriétés mécaniques du matériau.

L'allongement à la rupture (zone plastique plus importante) des éprouvettes préparées pendant 1 et 2 mois est assez important que celui des autres éprouvettes. Ce qui nous permet de dire que ces éprouvettes sont plus ductiles que les autres.

Comme toutes les courbes des films monocouches et tricouches présentent presque une relation linéaire initiale, le module d'élasticité E est déterminé en tant que pente de la première

partie de la courbe de traction. La variation de E avec la durée de vieillissement pour les films à trois couches et monocouches est donnée par la figure IV-4.

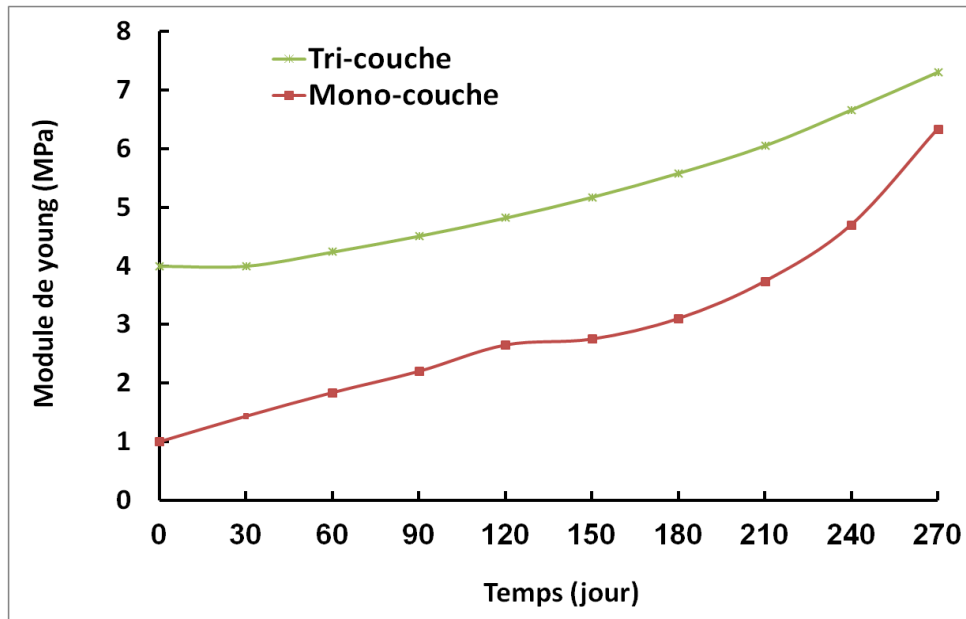


Figure IV.4 : Module de Young (mono et tri couches)

Le module de Young donné par la pente de la partie élastique (première phase) des courbes contrainte-déformation est le même pour l'ensemble des éprouvettes.

IV.1.3 Etude comparative des propriétés mécaniques en traction

Sur les trois figures suivantes, on représente les résultats comparatifs entre les films mono et tricouches. Ces résultats portent sur les propriétés mécaniques en traction à savoir ; la résistance à la traction, la limite d'élasticité et l'allongement à la rupture.

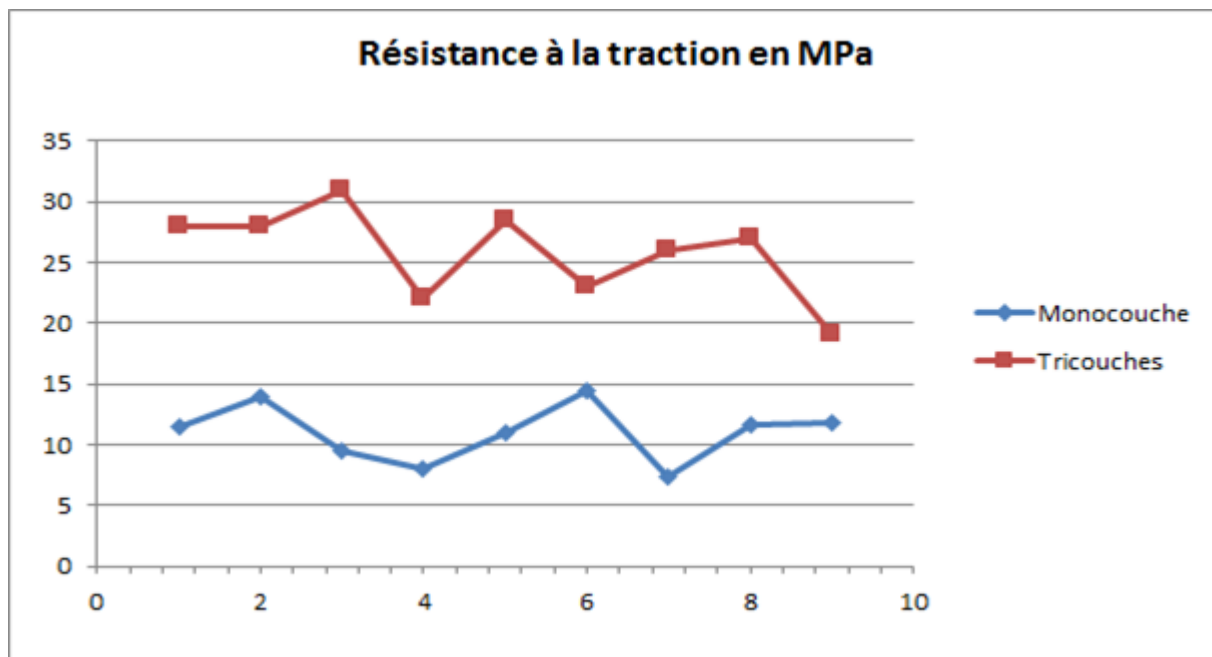


Figure IV.5 : Résistance à la traction

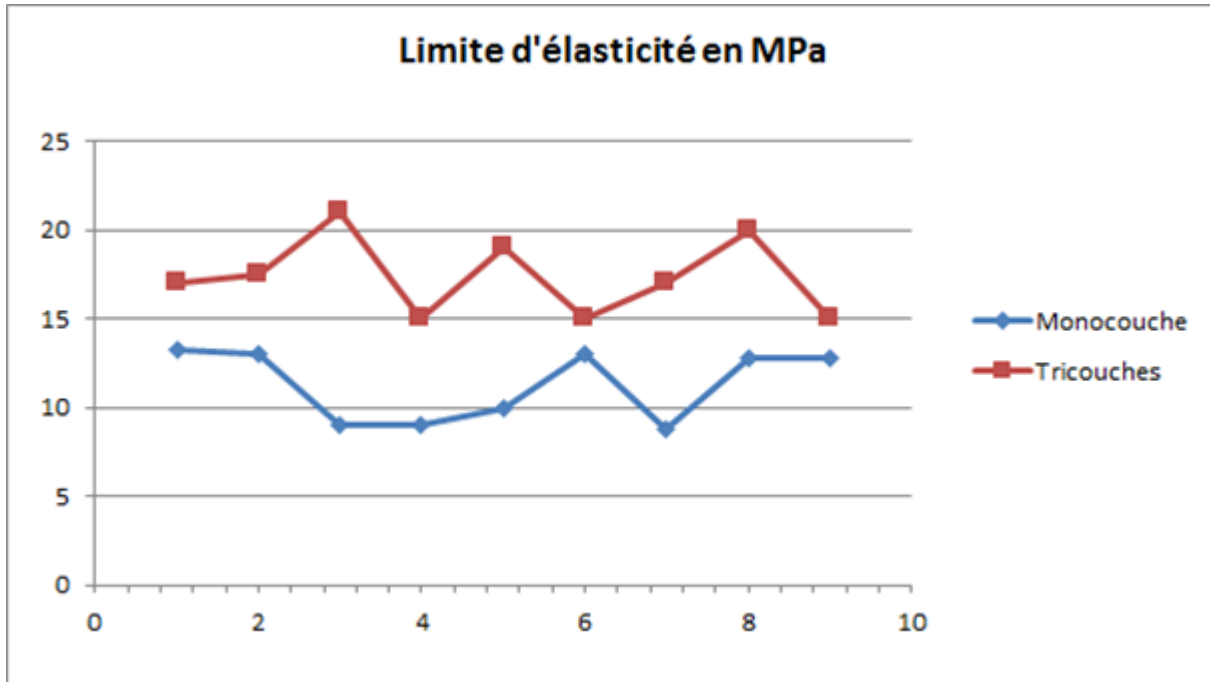


Figure IV.6 : Limite d'élasticité

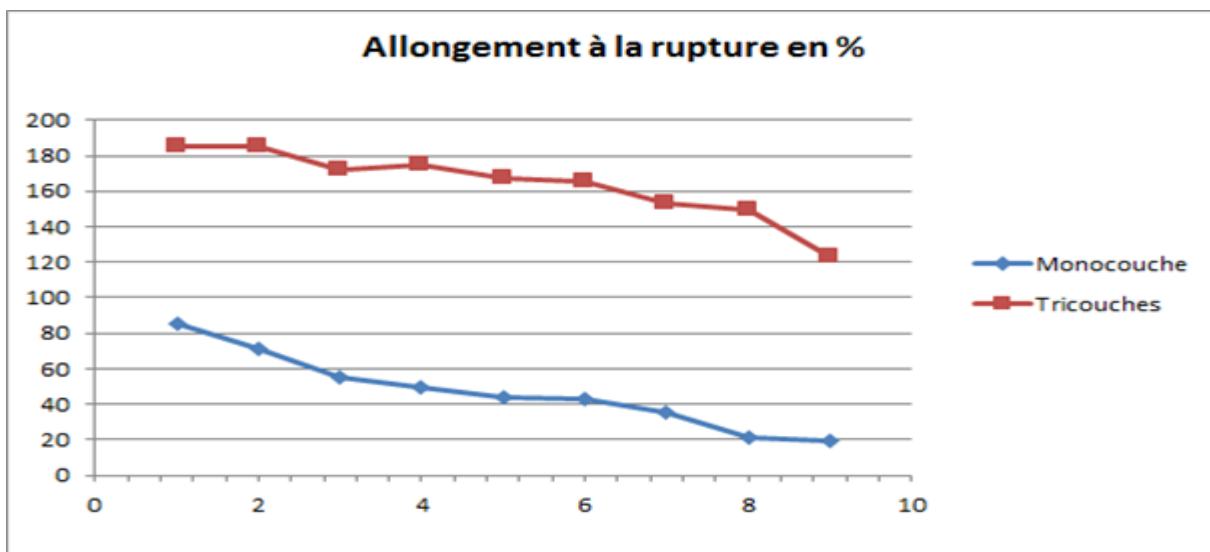


Figure IV.7 : Allongement à la rupture

D'une manière générale, les propriétés mécaniques (résistance à la traction, limite d'élasticité et allongement à la rupture) des tricouches sont nettement supérieures à celles de la monocouche.

La résistance au déchirement (résistance à la traction) et la limite d'élasticité subissent des variations au du temps, tandis que l'allongement à la rupture décroît d'une manière continu avec le temps.

IV.2 Résultats du fluage

IV.2.1 Déformation totale des matériaux

Les courbes des figures IV-7 et IV-8 ($\varepsilon = f(t)$) ont une allure proche, et elles sont caractérisées par deux domaines de déformation et non trois comme pour les courbes de fluage habituelles :

1) Un stade primaire (fluage primaire) où la déformation (total strain= ε) augmente rapidement avec le temps. Il est caractérisé par une diminution de la vitesse de déformation au cours du temps, jusqu'à atteindre une valeur minimale. Cette partie est caractérisée par la présence d'une importante déformation élastique ε_0 (appelée déformation instantanée) par suite de la mise en charge l'éprouvette.

2) Un stade secondaire (fluage secondaire) caractérisé par une stabilisation de la déformation. La vitesse de déformation reste minimale et constante au cours du temps. Ce stade est achevé par la rupture des éprouvettes. Les courbes dans cette partie sont globalement parallèles

Le troisième stade (stade tertiaire) est inexistant dans ce cas de figure. Donc, les éprouvettes n'ont subi aucune striction. La résistance au fluage est nettement meilleure pour le tricouche que pour le monocouche.

On constate que pour un temps donné, la déformation atteinte diminue pour le monocouche et le tricouche avec l'augmentation du nombre de mois. Cette déformation atteint ces valeurs maximales pour l'échantillon vierge. Plus le nombre de mois augmente, plus le second domaine débute tôt. Ainsi, le domaine du fluage primaire est réduit. La courbe déformation – temps dutricouche montre une augmentation rapide de la déformation au début, puis elle se stabilise à partir de 300 heures pour l'échantillon vierge et celui à 1 mois. Ce temps est de 250 heures pour les échantillons à 2, 3, 4, 5 et 6 mois. Pour les 3 derniers mois il est de 200 heures. C'est-à-dire le temps entre les deux stades de déformation diminue, si on passe du premier au dernier mois.

La durée de vie exprimée par le temps avant la rupture des éprouvettes dutricouche est presque 10 fois celle du monocouche. Celle dutricouche diminue avec l'augmentation du nombre de mois. Elle est de 2000 heures pour le premier mois, de 1500 pour le 3^{ème} mois, aux environs de 1200 pour les 6 premiers mois et atteint 500 heures pour le 9^{ème} mois.

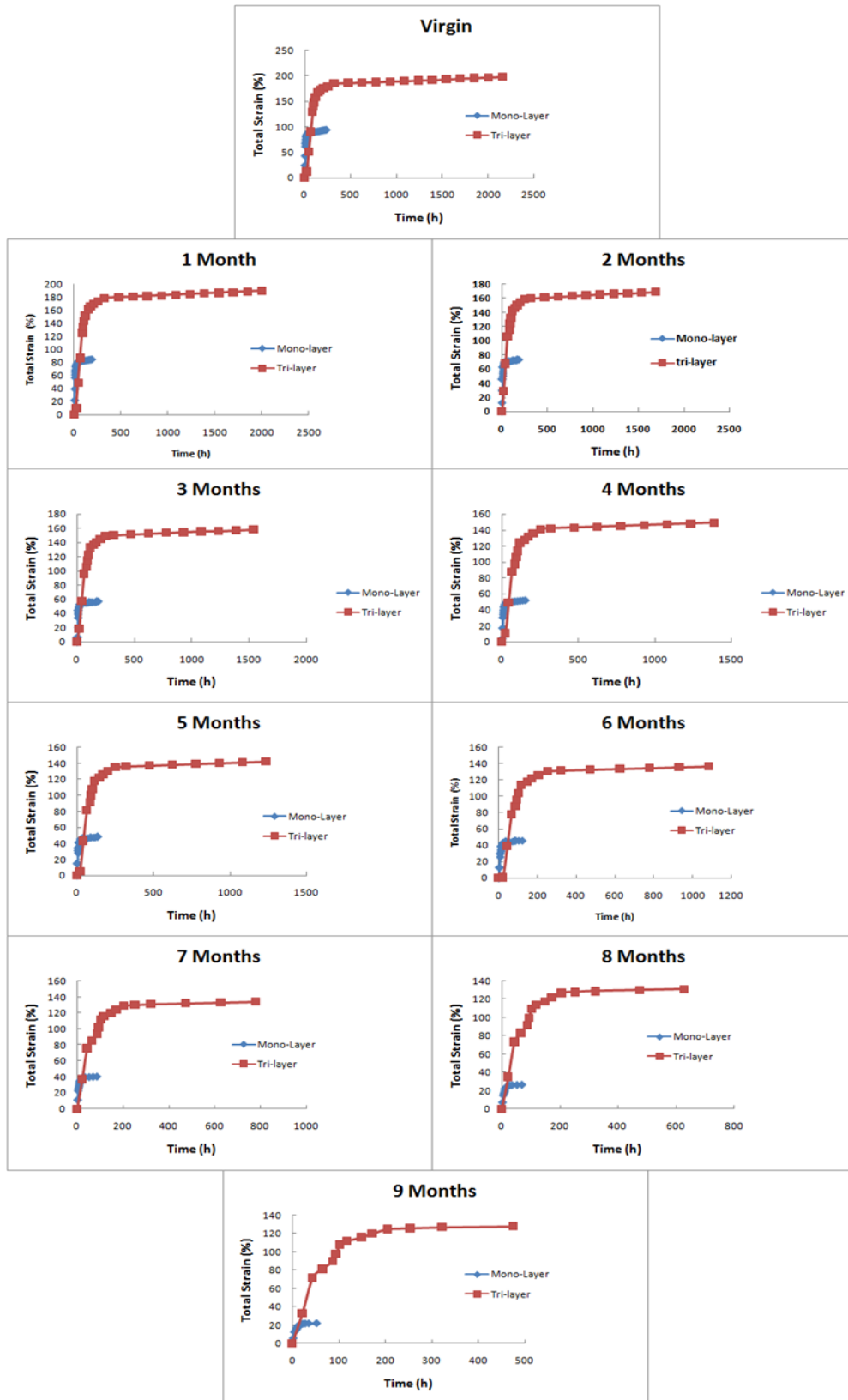


Figure IV.8 : Déformation totale

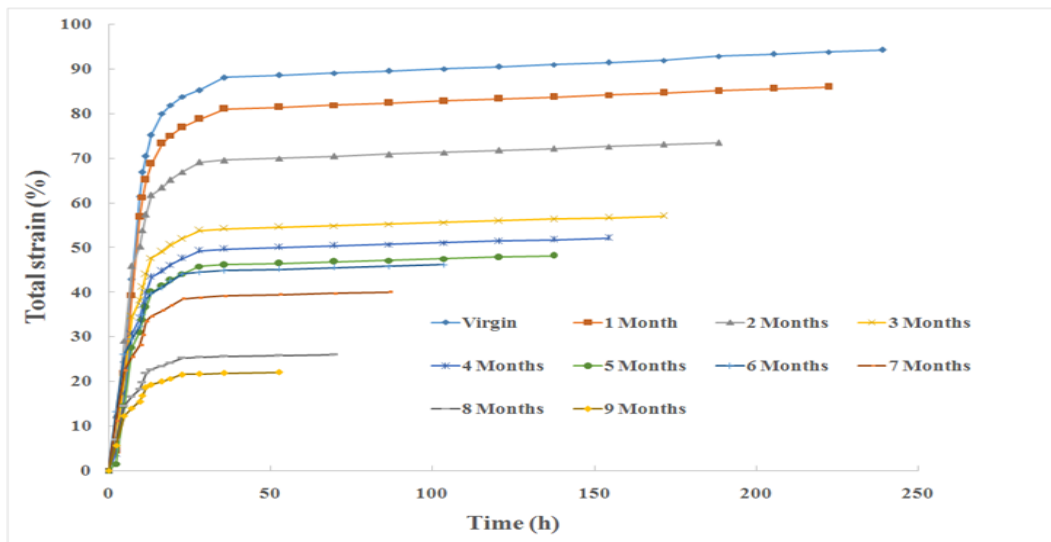


Figure IV.9 : Déformation totale pour monocouches

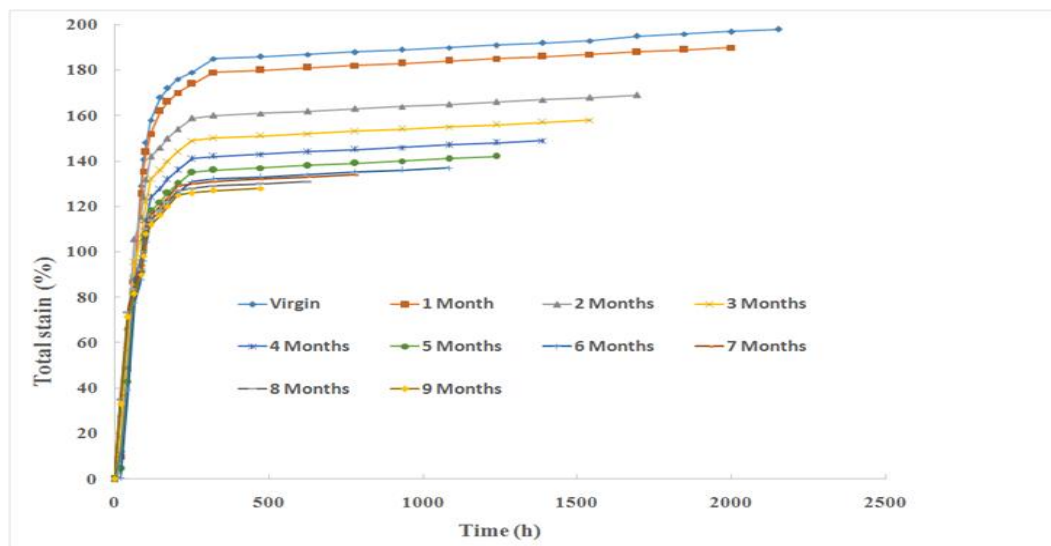


Figure IV.10 : Déformation totale pour tricouches

IV.2.2 Limite d'élasticité

Le seuil d'écoulement (la limite d'élasticité) comme le montre la figure IV.11, se dégrade avec l'augmentation du nombre de mois. Cette dégradation devient plus importante à partir du 7ème mois.

Le matériau assujéti aux conditions climatiques diverses telles que : la température, le vent et la grêle est plus résistant au vieillissement sous ces conditions pendant les six premiers mois. A partir du 7ème mois, il vieillit rapidement et voit sa limite élastique se dégrader fortement.

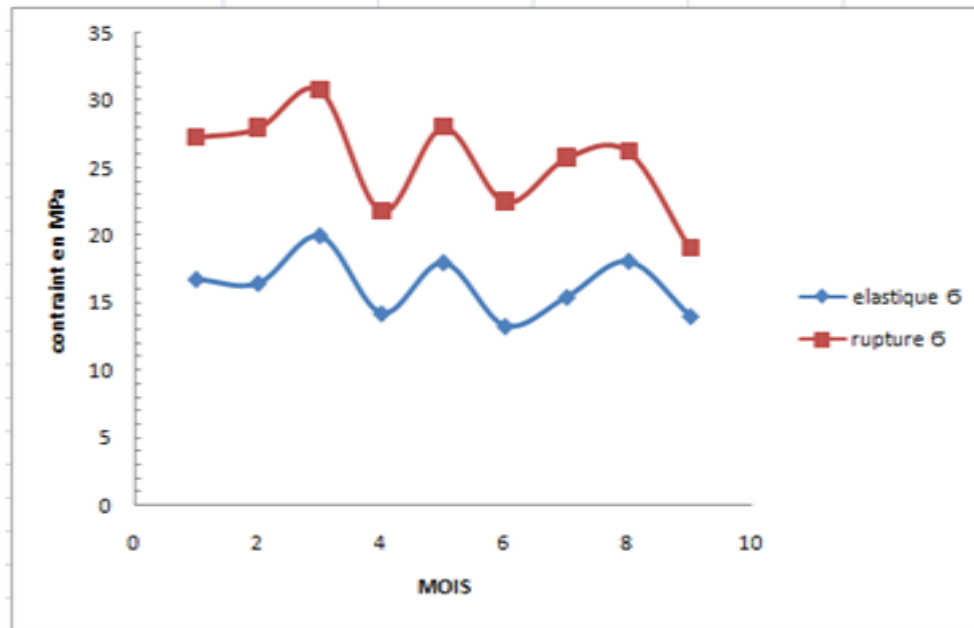


Figure.IV. 11 : Contraintes élastique et de rupture

IV.2.3 Vitesse de fluage

Nous remarquons que les fluages primaire et secondaire sont prépondérants, le fluage tertiaire est inexistant, par suite de la réalisation de nos essais à des températures proches de la température ambiante.

L'étape de mise en charge est caractérisée par la présence d'une importante déformation élastique ϵ_0 (appelée déformation instantanée) des éprouvettes.

Cette déformation augmente rapidement avec le temps. La vitesse de déformation de cette partie diminue au cours du temps.

Nous remarquons aussi, que la vitesse de déformation du fluage primaire chute rapidement surtout avec l'augmentation du nombre de mois, jusqu'à atteindre une valeur minimale de la vitesse.

Cette vitesse est appelée vitesse de déformation minimale est une caractéristique du fluage secondaire. Dans notre cas elle varie légèrement ou bien elle reste constante pendant ce stade.

Cette vitesse diminue fortement si on passe de l'échantillon vierge à l'échantillon vieilli pendant 9 mois.

Les éprouvettes se déforment avec une vitesse constante pendant le fluage secondaire. Il dure jusqu'à la rupture finale des éprouvettes.

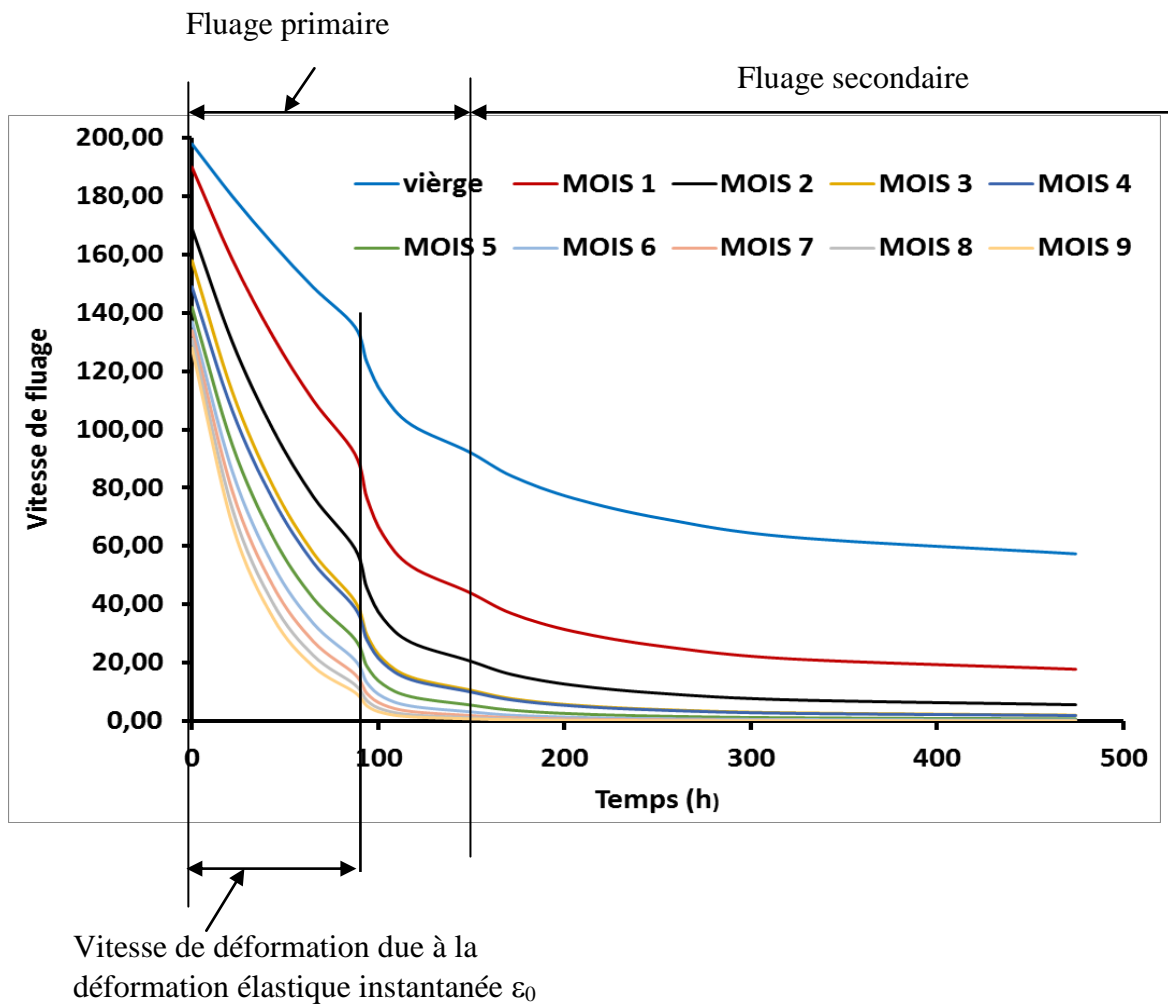


Figure IV.12. Vitesse de fluage

IV.2.4 Temps à la rupture des matériaux

La durée de vie du matériau exprimée par le temps avant rupture (t_r) représentée sur la figure IV.13, est écourtée avec l'augmentation du nombre de mois, pendant lequel on observe une dégradation du matériau causée par son vieillissement. Cette dégradation s'amplifie si on passe du premier au 9^{ème} mois.

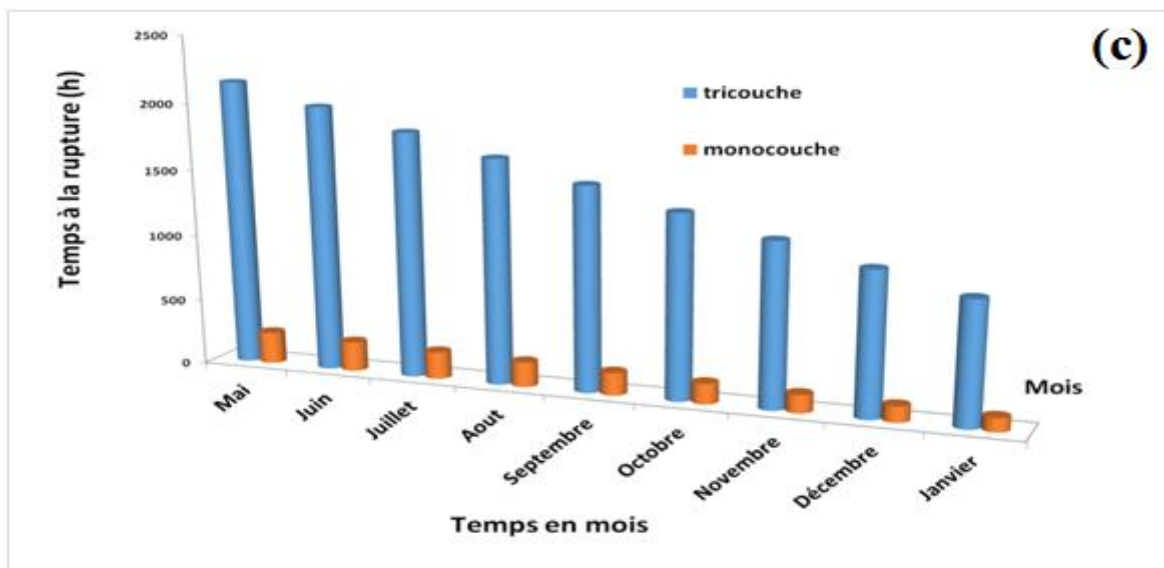
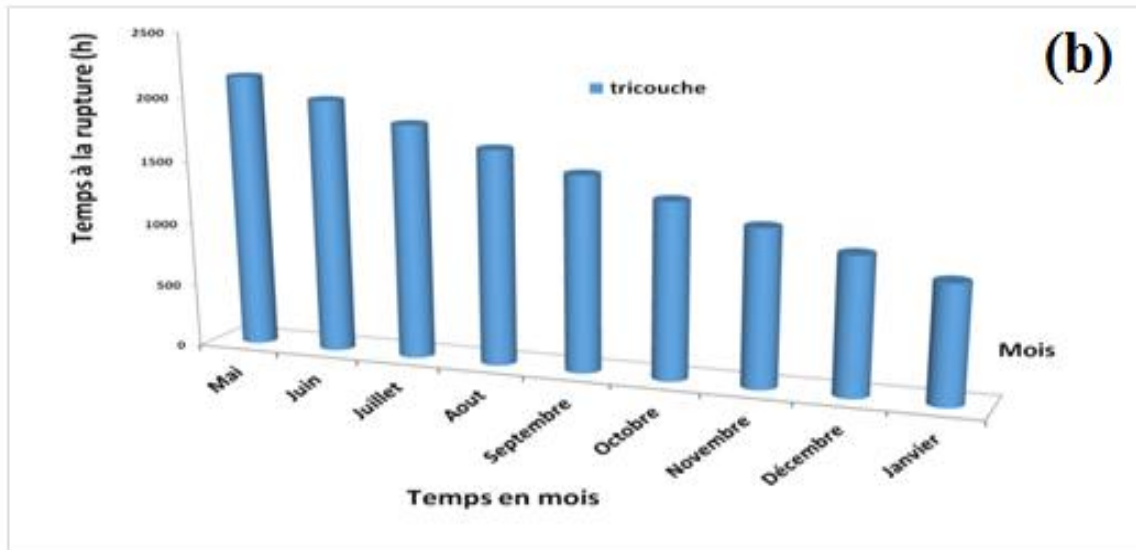
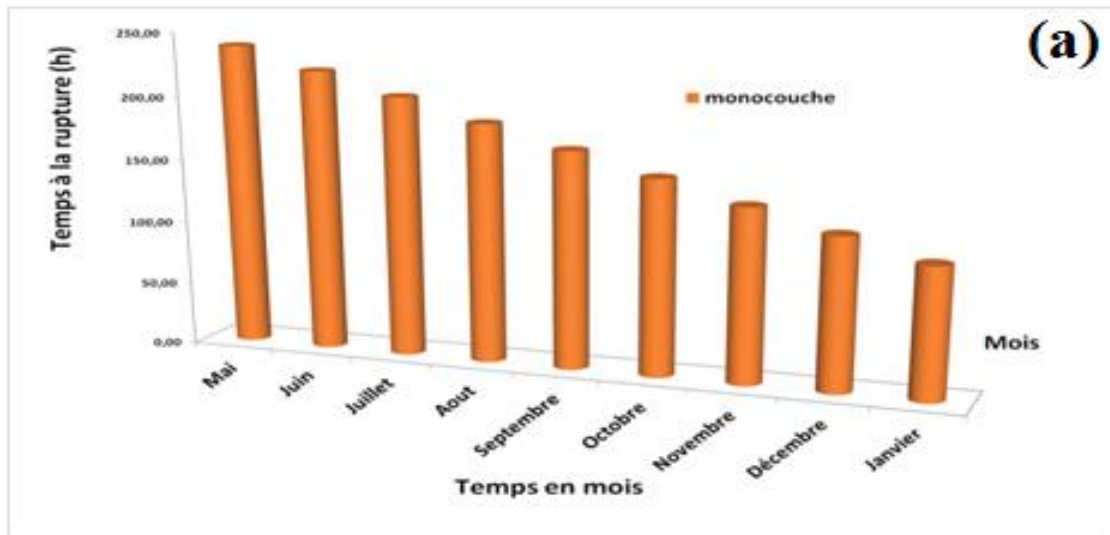


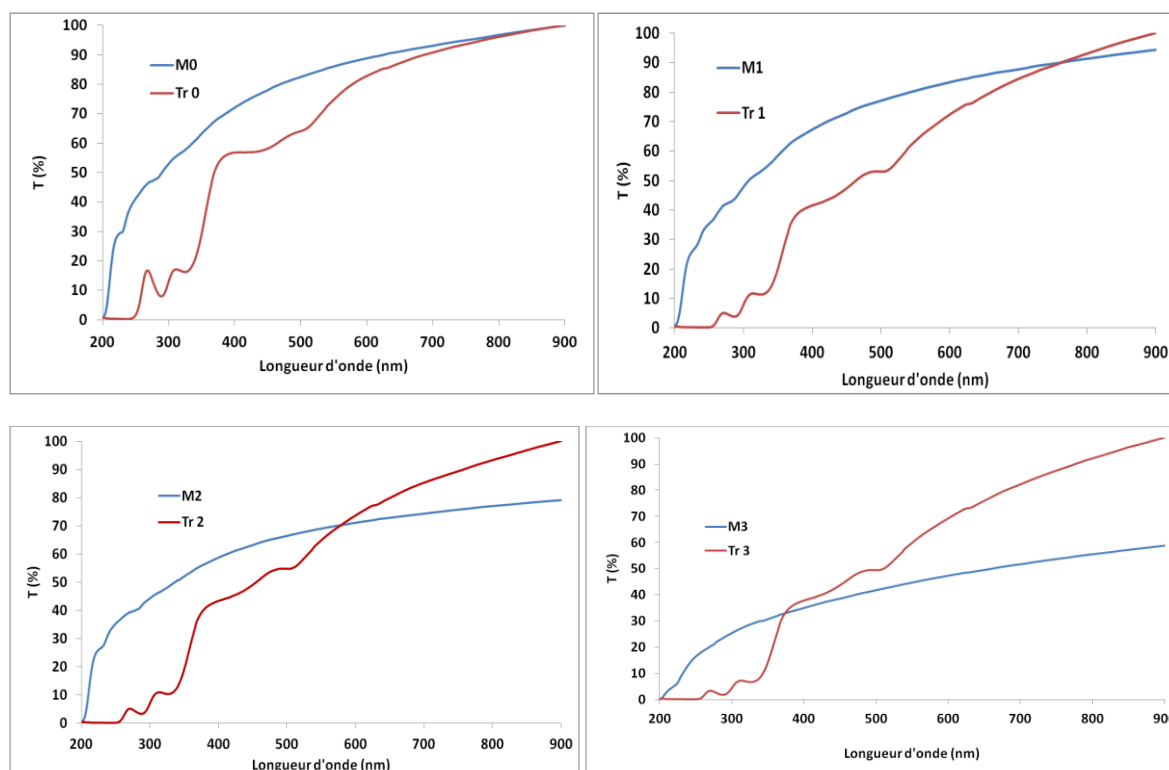
Figure IV.13 Temps à la rupture (a) monocouche, (b) tricouche, (c) mono/tricouche

IV.3 Résultats de l'analyse par UV-Visible

L'évolution des films plastiques sous l'effet des différentes conditions climatologiques a été suivie par spectroscopie UV-Visible en mode de transmission. Tout au long de cette étude, les spectres UV-Visible de nos échantillons sont obtenus à l'aide d'un spectrophotomètre à double faisceau de type SHIMADZU (UV 1650 PC) présenté sur le schéma de la figure IV.14, le type de spectre obtenu est en fait l'évolution de la transmittance en fonction de la longueur d'onde.

Les spectres de transmission dans l'UV-visible en fonction de la longueur d'onde des différents échantillons sont présentés sur la figure IV.15

On peut voir que la transmittance moyenne dans la gamme des longueurs d'onde de la lumière visible est très élevée dans les deux matériaux vierges (mono et tricouches) puisque elle converge vers une valeur supérieure à 90%. Cette valeur de transmittance reste élevée pour les films tricouches qui dont les propriétés optiques n'ont pas été affectées par les conditions climatiques subies au cours du temps. Par contre pour les films monocouches, nous avons enregistré une réduction de la transmittance puisque elle devienne très faible ($< 50\%$) pour certains échantillons, ce qui peut être expliqué par une modification de la surface des films à cause des conditions climatiques.



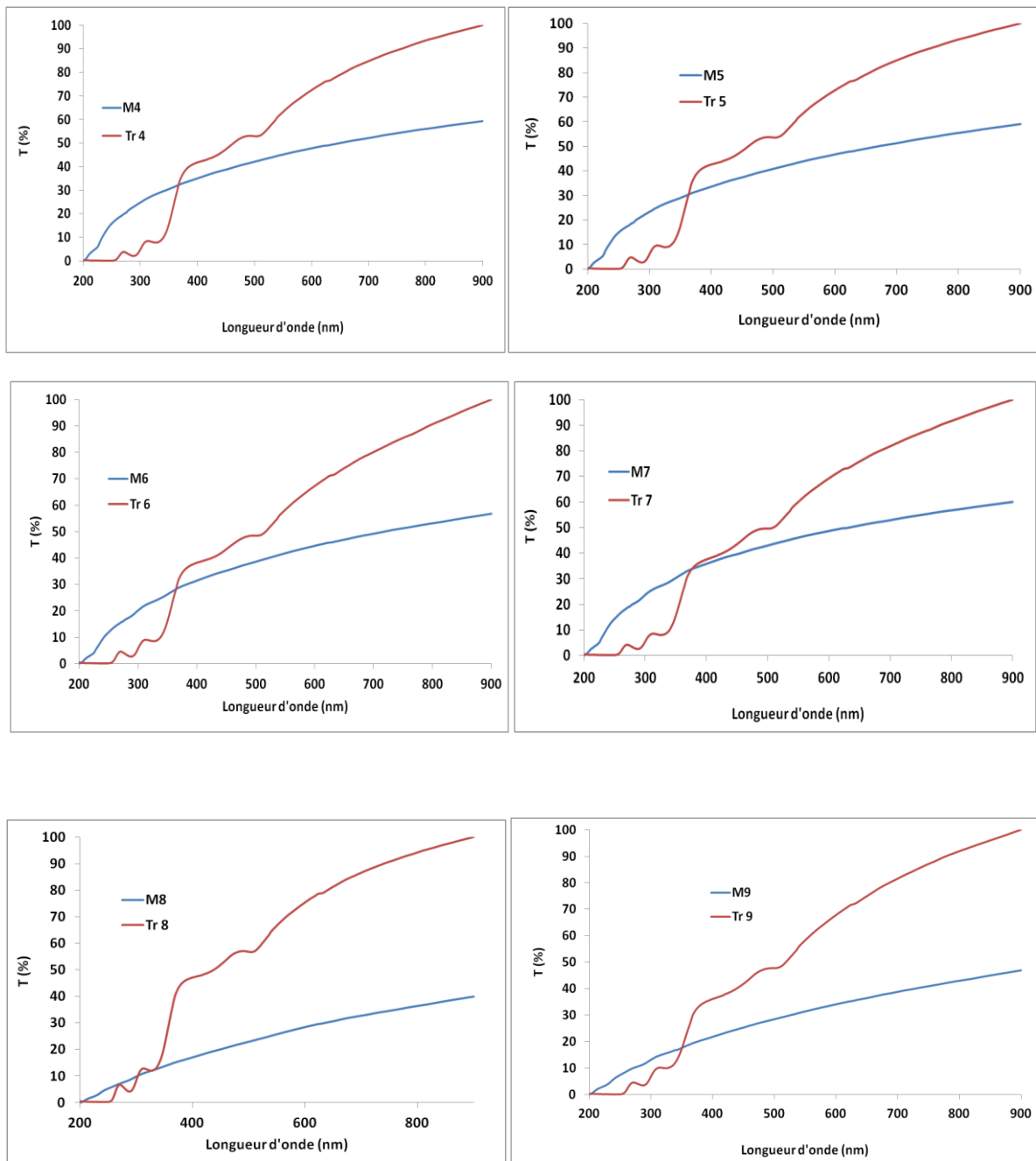


Figure IV.14 Résultats mensuels de transmittance (mono-tricouches)

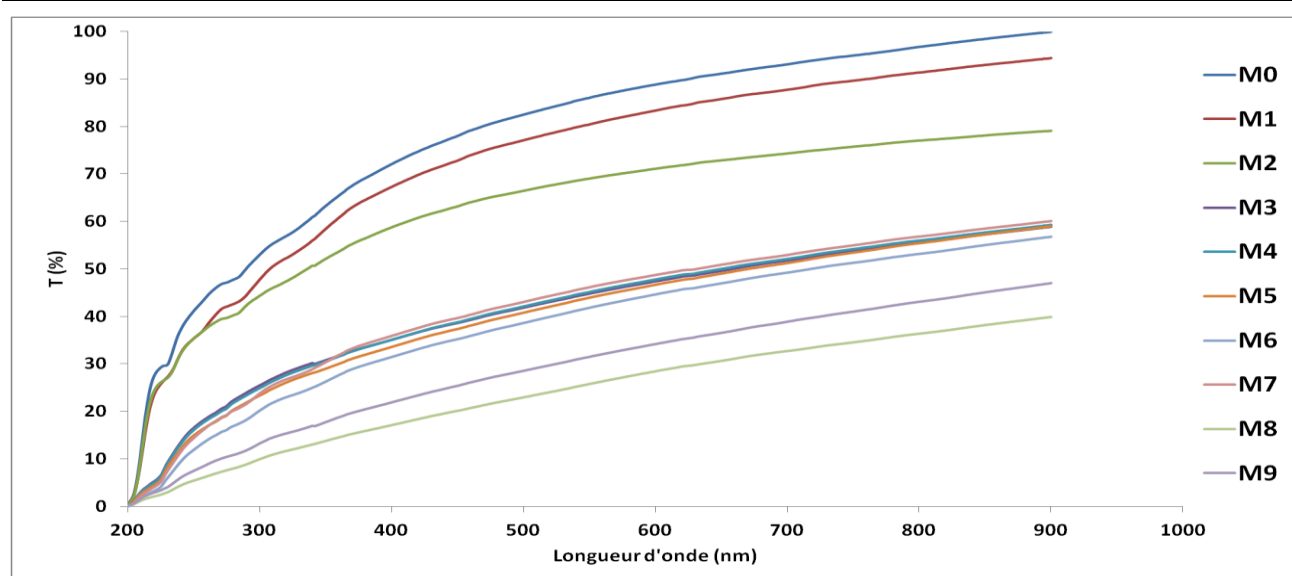


Figure IV.15 Transmittances des films monocouches

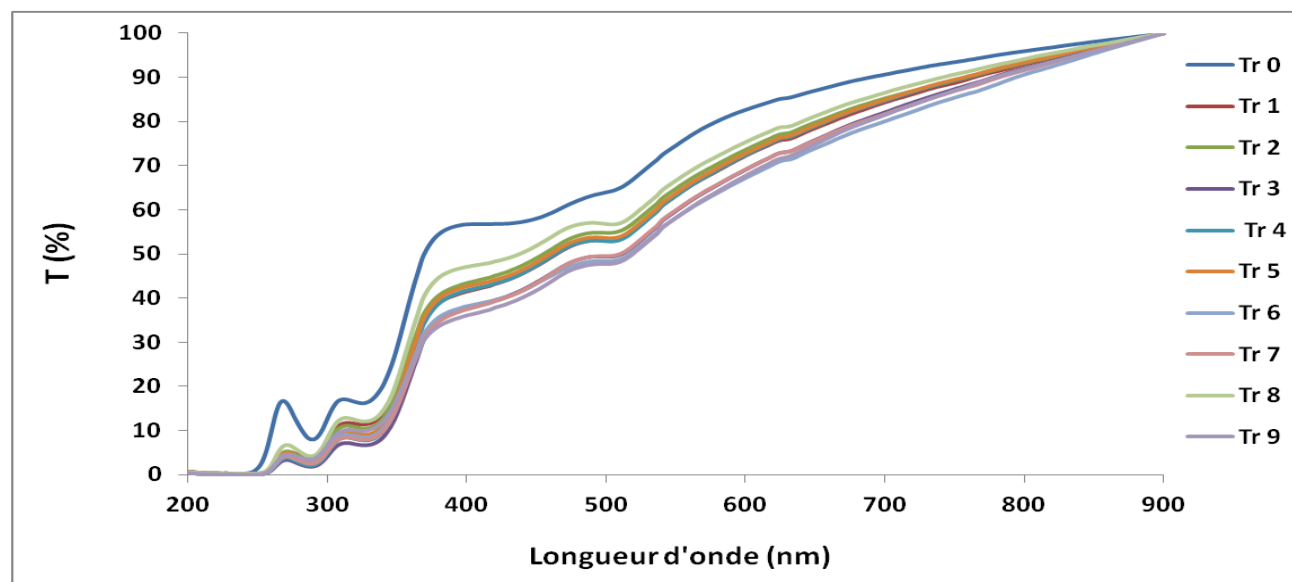


Figure IV.16 Transmittances des films tricouches

IV.4 Résultats de l'analyse par IR

La Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (ou FTIR : Fourier Transformed Infra Red spectroscopy) est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par une molécule ayant un moment dipolaire permanent ou induit. C'est la création d'états excités vibrationnels dans la molécule (sous l'effet d'un rayonnement absorbé) qui est la cause de l'émission infra rouge, caractéristique de la nature des liaisons atomiques. Son intérêt réside dans le fait que chaque spectre constitue une signature caractéristique des fonctions chimiques présentes dans les échantillons analysés. Le domaine spectral correspondant aux

énergies de vibration des molécules se situant entre 2,5 et 25 μm (nombre d'onde compris entre 4000 et 400 cm^{-1}), l'absorption d'un rayonnement IR dans cette gamme de longueur d'onde affecte les niveaux énergétiques interatomiques. Il s'en suit l'apparition de différentes bandes d'absorption, chacune d'elles associée à un mode de vibration donné. Par conséquent, à un matériau de composition chimique et de structure données va correspondre un ensemble de bandes d'absorption caractéristiques, permettant d'identifier les fonctions présentes au sein de ce matériau.

Tous les spectres infrarouges ont été réalisés à l'aide d'un spectromètre à transformée de type Alpha Bruker (figure III.17), au niveau du Laboratoire de Génie Physique à l'Université Ibn-Khaldoun de Tiaret. Pour les analyses infrarouges, les échantillons ont été préparés sous forme de films et analysés dans la plage de 400 à 4000 cm^{-1} à la vitesse de balayage 40 coups/min pour 4 cm^{-1} de résolution.

A première vue, l'ensemble des spectres obtenus demeurent identiques ce qui résulte de la présence des mêmes liaisons dans tous échantillons. Les bandes caractéristiques résultantes de l'analyse FT-IR sont effectivement celles caractéristiques du polyéthylène et peuvent être présentées comme suit :

- Bande intense à 745 cm^{-1} correspond à la vibration interne $\delta\text{-CH}_2\text{-}$ de la partie cristalline[1].

- Bande peu intense a 908 cm^{-1} caractérisant la liaison C-O lié aux réactions d'oxydations[2].

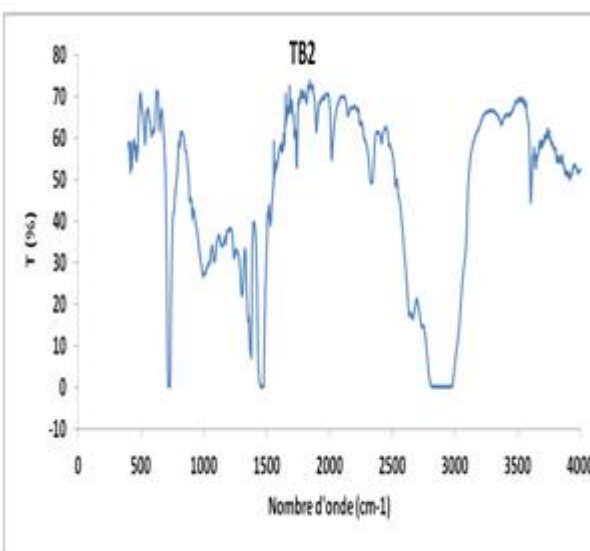
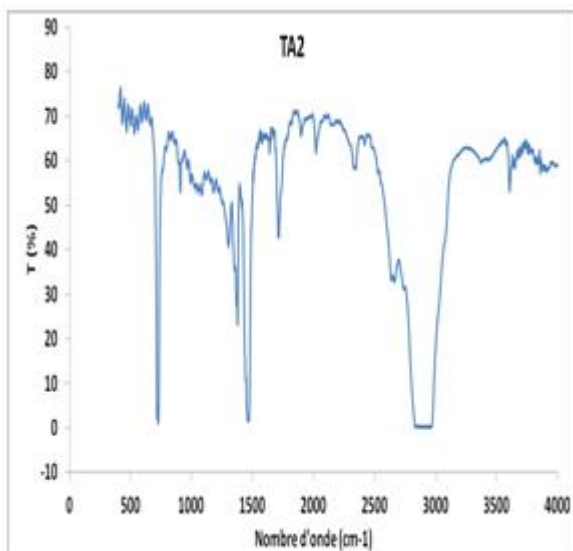
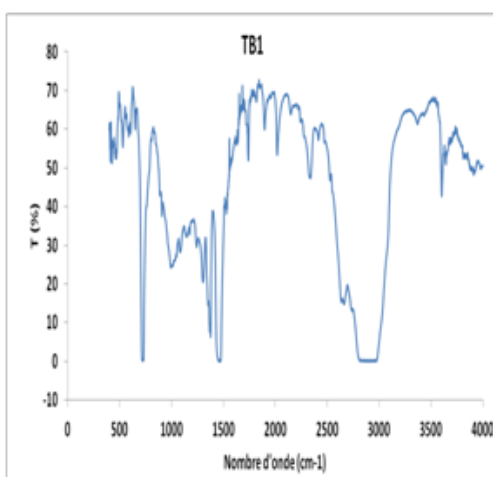
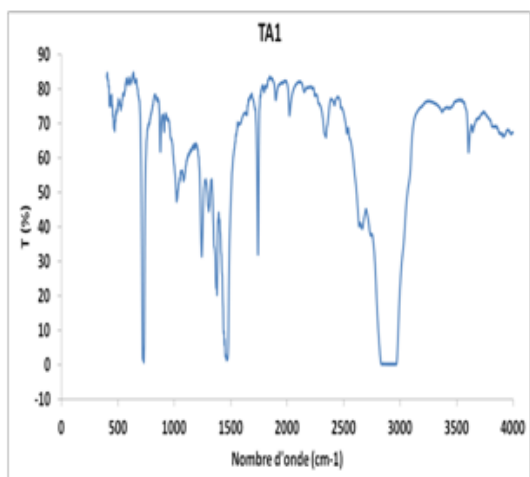
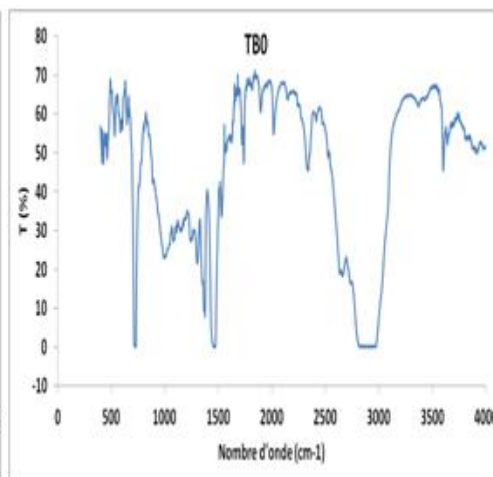
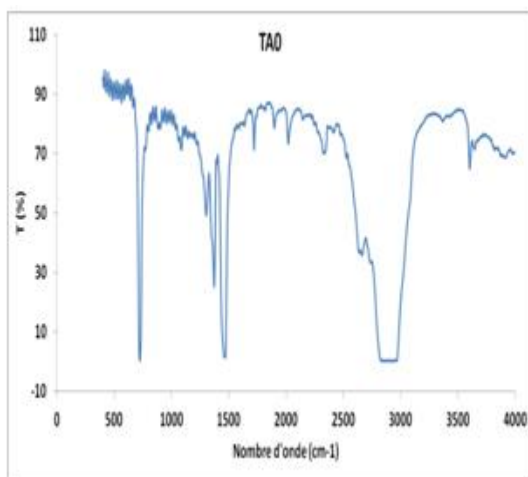
- Bande à 1375 cm^{-1} intense correspond la liaison $\delta\text{-CH}_3$ due à déformation dans le plan [3].

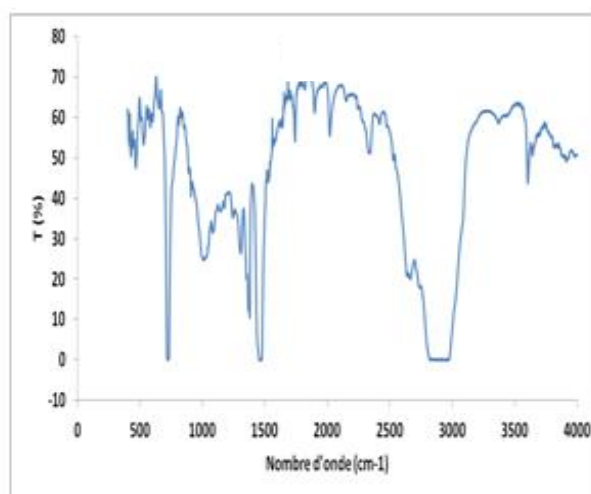
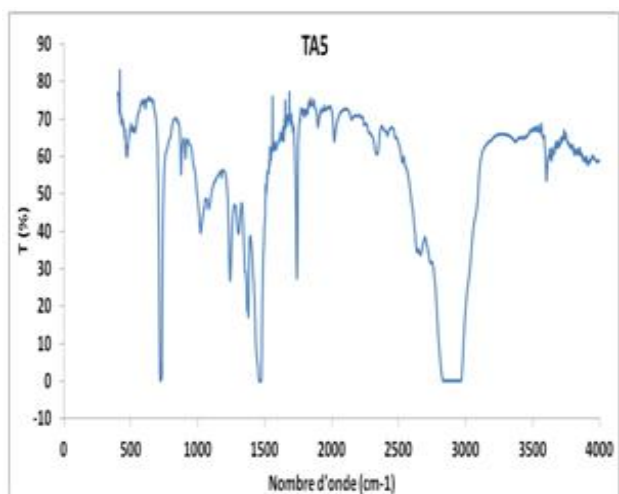
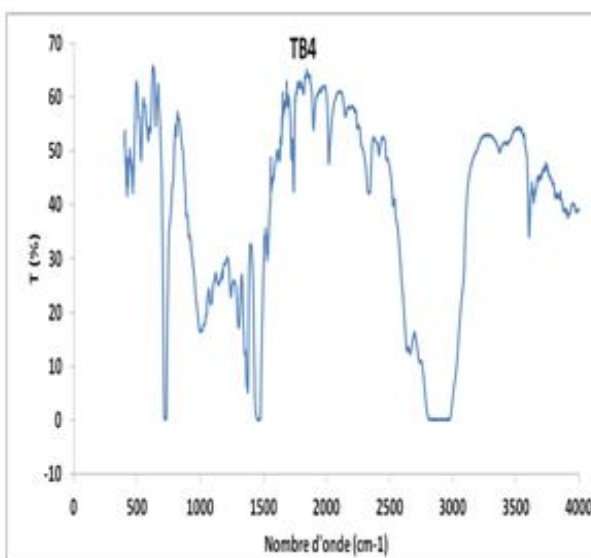
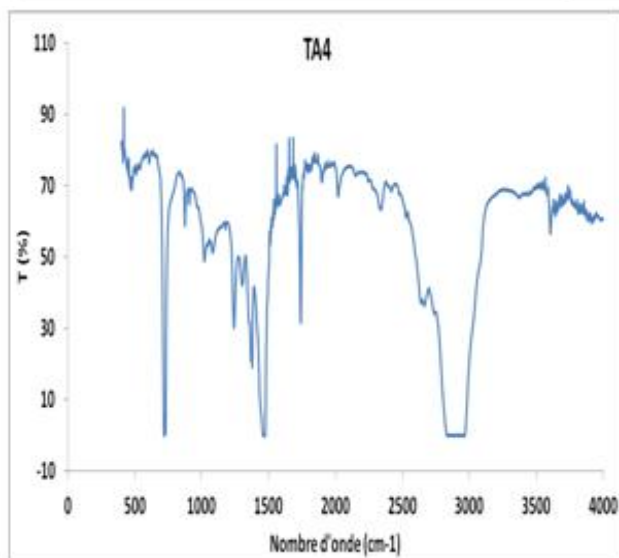
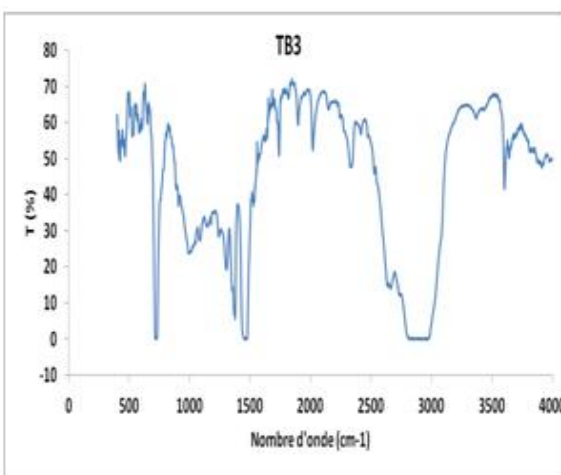
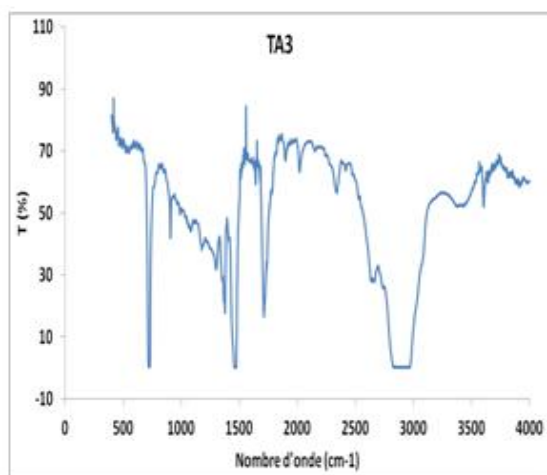
- Bande à 1470 cm^{-1} caractérise un pic fin et plus intense attribué à la liaison C-H [4].

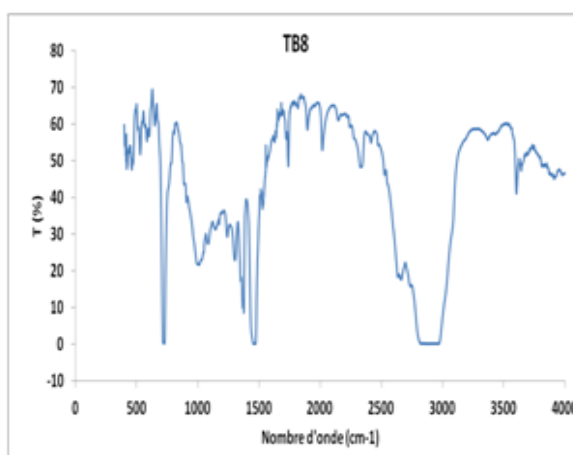
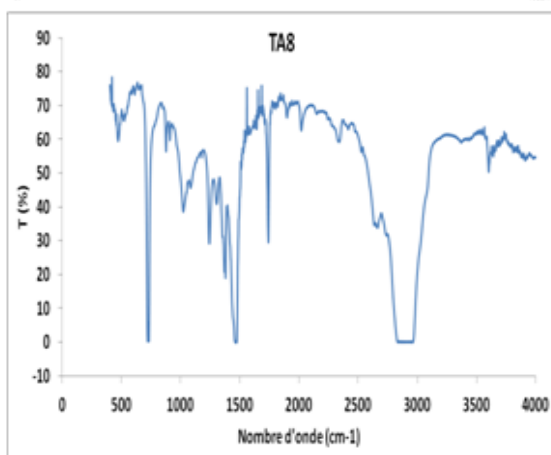
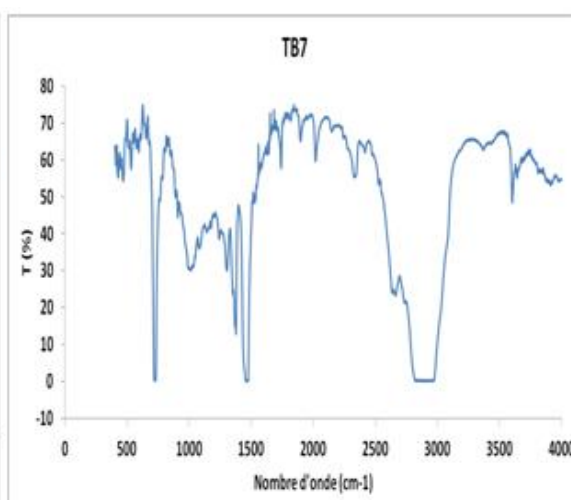
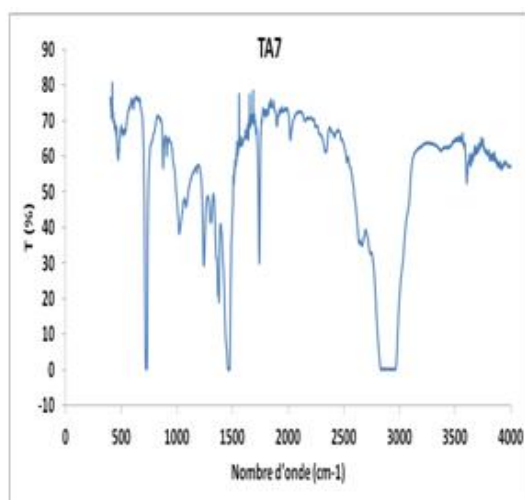
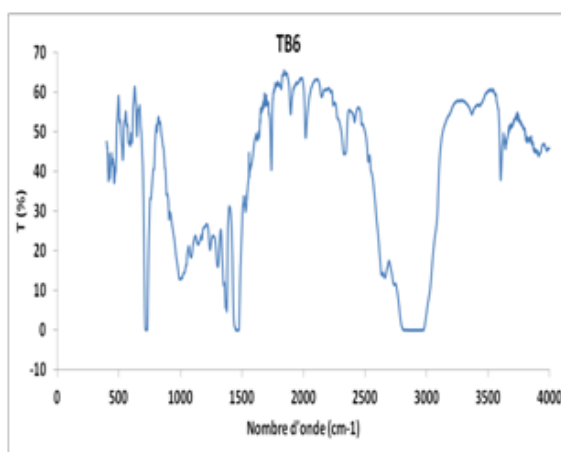
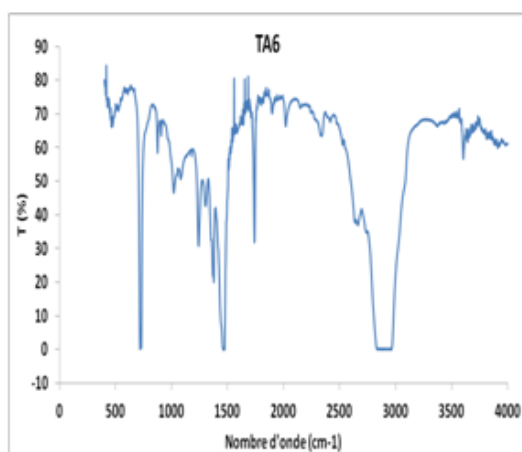
- Un pic intense aux alentours de 1700 cm^{-1} , relatif aux groupements C=O qui sont liés aux réactions d'oxydation [2].

- Bande à 2875 cm^{-1} : bande caractérise la liaison $\gamma\text{-CH}_2\text{-}$ correspond à un étirage antisymétrique [5].

- Bande intense à 745 cm^{-1} correspond à la vibration interne $\delta\text{-CH}_2\text{-}$ de la partie cristalline et Bande peut intense a 908 cm^{-1} caractérisant la liaison C-O lié aux réactions d'oxydations et Bande à 1375 cm^{-1} intense correspond la liaison $\delta\text{-CH}_3$ due à déformation dans le plan et Bande à 1470 cm^{-1} caractérise un pic fin et plus intense attribué à la liaison C-H et Bande à 2875 cm^{-1} : bande caractérise la liaison $\gamma\text{-CH}_2\text{-}$ correspond à un étirage antisymétrique.







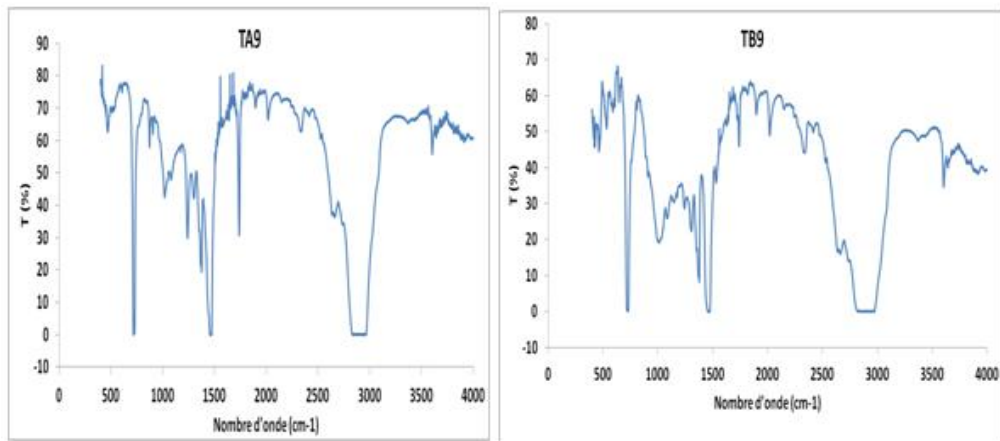


Figure IV.17 Spectes infrarouge par mois

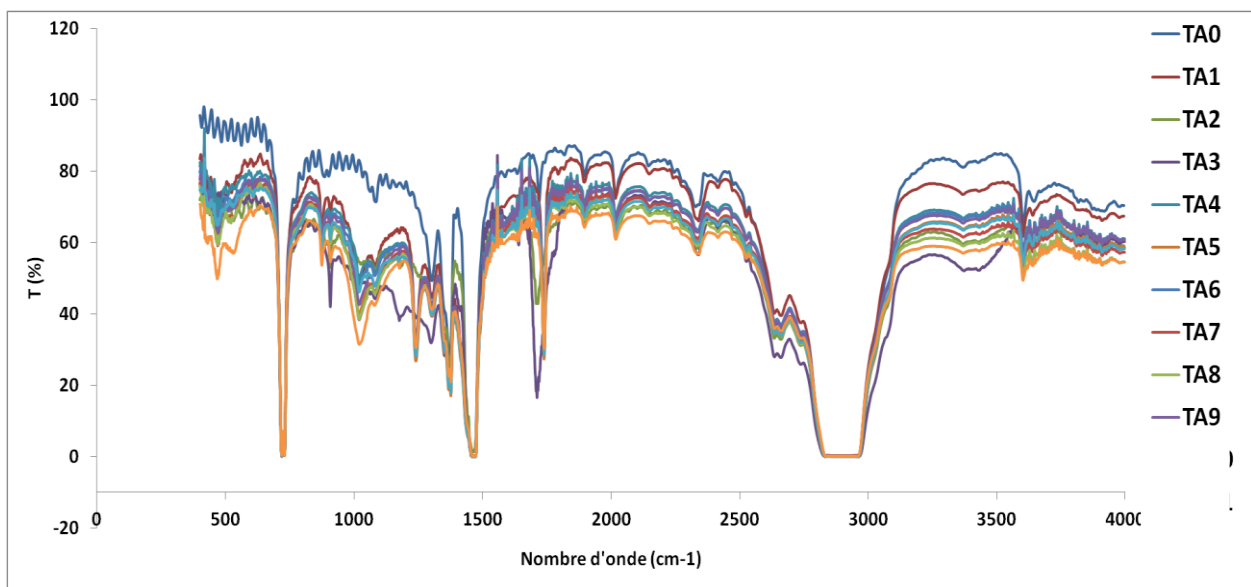


Figure IV.18.Spectre infrarouge général (monocouches)

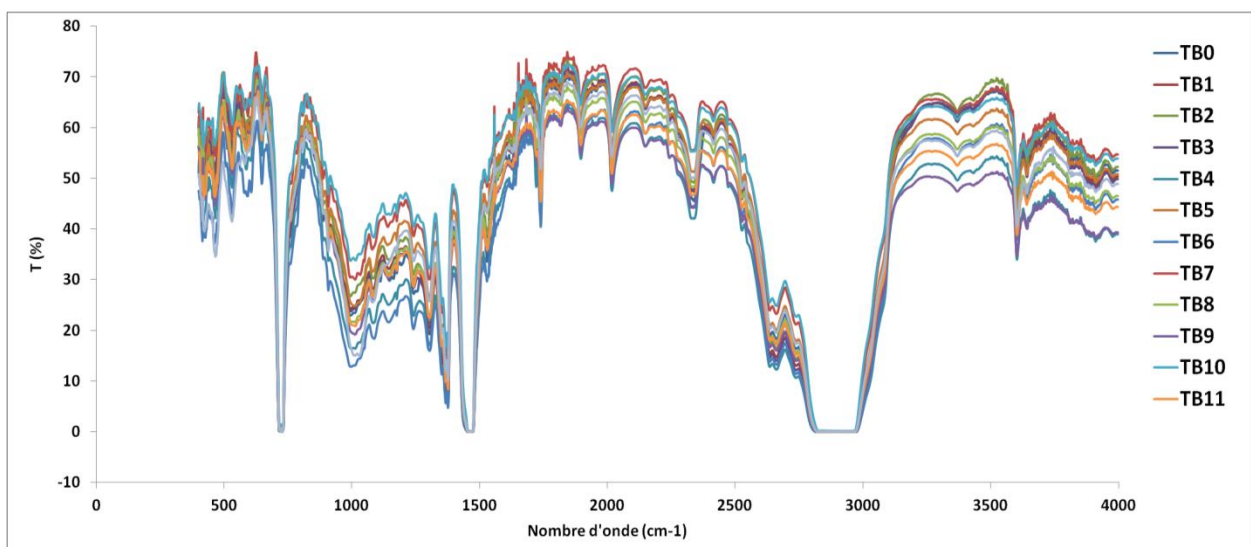


Figure IV.19 : Spectre infrarouge général (tricouches)

Références bibliographiques du chapitre IV

- [1] F. Gaston, N. Dupuy, S. R.A. Marque, M. Barbaroux et S. Dorey : One year monitoring by FTIR of γ -irradiated multilayer film PE/EVOH/PE. Radiation Physics and Chemistry 125: 115-121 (2016).
- [2] BumKiBaeka, Yun Ho Laa, Albert S. Lee, Haksoo Han, Seong Hun Kim, Soon Man Hong, et Chong Min Koo : Decrosslinking reaction kinetics of silane-crosslinked polyethylene in sub- and super critical fluids. Polymer Degradation and Stability 130 : 103-108 (2016).
- [3] F. Gaston, N. Dupuy, S. R.A. Marque, M. Barbaroux et S. Dorey : One year monitoring by FTIR of γ -irradiated multilayer film PE/EVOH/PE. Radiation Physics and Chemistry 125: 115-121 (2016).
- [4] F. Gaston, N. Dupuy, S. R.A. Marque, M. Barbaroux et S. Dorey : One year monitoring by FTIR of γ -irradiated multilayer film PE/EVOH/PE. Radiation Physics and Chemistry 125: 115-121 (2016).
- [5] F. Gaston, N. Dupuy, S. R.A. Marque, M. Barbaroux et S. Dorey : One year monitoring by FTIR of γ -irradiated multilayer film PE/EVOH/PE. Radiation Physics and Chemistry 125: 115-121 (2016).

Conclusion générale

Cette étude avait comme objectif la mise en évidence de l'effet et l'impact des conditions climatologiques d'une région semi-aride, à savoir la région de Tiaret dans le nord ouest Algérien sur les caractéristiques mécaniques, chimiques et physiques des films monocouches et tricouches de LDPE. A cet effet, des serres ont été installées au niveau du site de la faculté des sciences de la vie et de la nature (Karman) à l'université de Tiaret à partir de polyéthylène en mono et tricouche. Les matériaux plastiques ont été soumis à deux types de vieillissements, d'où une corrélation entre les effets de ces deux types de vieillissements a été réalisée.

L'évolution des propriétés mécaniques a été étudiée par l'évaluation des différents paramètres ; module d'élasticité (E), contrainte à la rupture (a) et allongement à la rupture (e).

Les propriétés mécaniques des deux films ont été détériorées en raison de l'exposition aux conditions environnementales (par exemple, le rayonnement solaire et la température). Les résultats de ces travaux ont révélé que la dégradation des propriétés mécaniques est liée aux intempéries et au processus de vieillissement.

La résistance au déchirement, le seuil d'écoulement, l'allongement à la rupture et la ténacité ont été déterminées à partir des courbes de traction (contrainte-déformation) obtenues en fonction du nombre de mois de vieillissement.

La résistance au déchirement et la limite d'élasticité (seuil d'écoulement) subissent de légères variations au cours du temps, tandis que l'allongement à la rupture et la ténacité décroissent d'une manière accentuée pour les échantillons vieillis pendant un temps plus important.

En ce qui concerne la résistance aux intempéries, l'effet du rayonnement UV ainsi que les températures élevées, l'analyse des résultats obtenus montrent que les films tri-couches demeurent intrinsèquement plus stables en comparaison à ceux du monocouche, puisqu'ils peuvent supporter une exposition de 9 mois sans dépasser une détérioration de 50% de leurs propriétés mécaniques.

Les propriétés optiques des films ont-elles aussi étaient affectées par les conditions climatiques. Il a été remarqué que la transmission optique du film monocouche s'est réduite au bout de 9 mois de vieillissement.

Le suivi de l'évolution des deux matériaux en monocouche et tricouche durant la période de vieillissement par spectroscopie Infrarouge montre la reproductibilité des spectres du moment qu'ils sont dans l'ensemble identiques avec une diminution de l'intensité de certains pics liée essentiellement aux phénomènes d'oxydation subis par les matériaux.

En règle générale, l'érosion du film de PEBD pour serre due à la température, à l'eau, aux particules de sable, au vent et à l'humidité conduit à des durées de vie extrêmes. Ces durées de vie sont estimées à 10 mois pour les films tri-couches et de 4 mois pour les films monocouches.

D'une manière générale, les propriétés mécaniques en traction comme en fluage des échantillons à trois couches sont nettement supérieures à celles du matériau monocouche.

Cette étude montre également que le film de PEBD peut avoir une période d'utilisation plus longue en Europe (effets de la température et du vent) à basse température qu'en Afrique du Nord (effets de la haute température et le vent).

Perspectives






Ce travail reste encore incomplet à cause du facteur temps et le manque de moyens matériels qui ne nous a pas permis d'étudier l'effet d'autres paramètres. Une étude complémentaire sera lancée très prochainement pour mettre en évidence d'autres phénomènes de dégradation de notre polymère sous l'effet d'autres paramètres qui seront définis ultérieurement. Ces travaux tournent autour de deux thématiques principales :


1. Une étude numérique par simulation des résultats obtenus expérimentalement dans la région aride afin de réaliser une étude comparative.
2. Etude de l'effet des films plastiques sur le rendement des espèces végétales dans la région.



Annexe. 1

Tableau 1 : Quelques polymères avec leur domaine d'utilisation.

Nom chimique	Abréviation	Marquage (American SPI Plastics Coding System)	Utilisations
Polyéthylène haute densité	PEhd	 <p>02 HDPE</p>	<p>Corps creux pour embouteillages rigides: bouteilles, flacons, bidons de lait, récipients de lessives, détergents. Grands récipients: fosses septiques, fûts. Films d emballage. Objets injectés: palettes de stockage, signalisation urbaine</p>
Polyéthylène basse densité	PEbd	 <p>04 LDPE</p>	<p>Films: agricoles, sachetterie, emballages pour palettes (thermo-rétractable ou non) Récipients ménagers ou industriels: cuvettes, pots, bouteilles. Tuyaux souples, isolant de câbles électriques Jouets Coques de bateau ou de planche à voile</p>
Polypropylène	PP	 <p>05 PP</p>	<p>Films pour emballage alimentaire. Corps creux pour embouteillages rigides Tuyaux de circulation d'eau (capteurs solaires) Pièces industrielles: bandes de protection latérales pour automobiles (charges de carbon black pour stabilisation UV), intérieurs de lave vaisselle, batteries, boîtes à charnières intègre, ficelles, bandelettes, cordes</p>
Polychlorure de vinyle	PVC	 <p>03 PVC</p>	<p>Tuyauterie: alimentation d'eau, évacuation d'eau, drainage, gouttières, plinthes, barrières d extérieurs Bouteilles d'eau minérale Pots de margarine, blisters de gâteaux, pour produits pharmaceutiques, cosmétiques. Lacets, cordes à sauter, gainage de fils. Automobile: baguettes de protections, profil d étancheité Bureaux: classeurs, chemises protection, rubans adhésifs Maroquinerie, bottes</p>
Polystyrène	PS	 <p>06 PS</p>	<p>Emballages, pots de yaourt, présentoirs thermoformés, armoires de toilettes, diffuseurs optiques, jouets, cassettes audio, brosses à dents. Articles médicaux PS alléger: Talons de chaussure, pinces à</p>

			linge.
Polytéréphtalate d'éthylène	PET	01 	Fabrication de préformes pour étirage (fils textiles) ou bi-orientation (bouteilles d'eau gazeuse) Fils étires: Dacron, Tergal, Polyester pour tissus de vêtement films ou rubans: films photo, cinéma, rubans adhésifs, étiquettes, films isolants (moteurs condensateurs), calques, dessins.
Acrylonitrile – butadiène - styrène	ABS	-	Automobile: encadrements d'instruments carcasse de sièges, boîtes à gants, corps de chauffage. Électroménager: corps de différents appareils (mixer, presse-fruits, aspirateurs, cafetière électrique, combinés de téléphone, caisse de récepteur radio). Ameublement: châssis de fauteuils, touches de machines à écrire, articles de sport, instruments de jardin: carter de tondeuses à gazon et de tronçonneuses.
Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	-	Loupes et lentilles optiques de précision, verres de lunettes médicales et de soleil, prismes lumineux et verres de tableaux de bord, feux arrière, clignotants de voiture et camions, plaques pour vitres (hublots, domes, vitrines). Instruments médicaux et de laboratoire. Articles de dessin et scolaires, vasques d'éclairage, articles de publicité de haute qualité, croisillons de robinet, meubles modernes, cadrans téléphoniques
Polyamide	PA	-	Automobile: custode, spoliors, poignées de porte, enjoliveurs, réservoirs multicouches. Électroménager: accessoires de mixers, cuiseurs.. Industrie agroalimentaire: emballages alimentaires Sports et loisirs: chaussures de ski, patins de hockey
Polystyrène expansé	PSE	-	Emballage sur mesure antichoc. Boîte à œufs, emballages d'objets fragiles, appareils photos. Panneau isolant pour bâtiment
Polycarbonate	PC	-	Electromecanique: capots de relais, cadrans téléphoniques, prise de force. Électroménager: capotage, filtres à café, sèche cheveux, rasoirs, mixers, vaisselle. Appareil d'optique: jumelles, appareils photos, luminaires, feux automobile. Matériel de protection transparent ou non: casques, visières pare-brise motos, boucliers, capots de protection, vitrage

			sécurité, matériel médical stérilisable.
Polyacétal	POM	-	Carters de pompes à carburant, dérailleurs et pédalés de bicyclettes. Fixations de ski, filtre à eau, agrafeuses et machines de numérotage. Raccords de tuyauterie, briquets jetables. Engrenages, applications sanitaires Maillons de chaînes de convoyeurs, corps de cafetières électriques. Clips de fixation, crochets de rideaux. Robinetterie mixte eau chaude/eau froide
Polytéréphtalate de butylène	PBT	-	Électricité: pièces isolantes pour température et contrainte élevées, boîtiers de contacteurs, de sèche-cheveux, noyaux de bobinage, connecteurs à broches, interrupteurs. Électroménager: base de grille-pain, cafetières. Mécaniques: engrenages, carters, pièces de carrosseries (grille), supporte les températures de cuisson au four
Mélange	-	-	-

Annexe.2

Jours	MAI (2015)				JUN(2015)				JUILLET(2015)				AOOUT(2015)			
	T° en °C	T° en °C	U en %	U en %	T° en °C	T° en °C	U en %	U en %	T en °C	T en °C	U en %	U en %	T en °C	T en °C	U en %	U en %
	00 H	14 H	23 H	14 H	00 H	14 H	23 H	14 H	00H	14 H	23 H	14 H	00 H	14 H	23 H	14 H
1	5	14.6	83	58	15	23	55	28	24	32.1	49	31	26	37.6	37	20
2	7	16	51	24	19	29.8	37	25	25	33.1	39	30	25	34.7	36	27
3	11	22.2	40	21	18	32	59	20	28	38.8	44	26	27	35.2	42	23
4	15	27.4	52	21	14	24	67	42	23	38	49	33	23	35.2	48	30
5	15	16.8	94	91	17	25.5	61	34	21	30.5	72	39	23	32.3	62	28
6	12	15	99	92	20	29.9	48	29	27	34.3	46	37	22	29.2	56	52
7	10	15.5	93	73	21	31.7	50	37	22	36.4	53	30	20	28	56	31
8	14	25	84	34	22	32	51	31	23	33	73	49	21	29	54	42
9	13	26.2	86	34	23	33.4	46	30	29	31.2	55	51	21	33.7	64	37
10	13	25.9	91	40	21	31.5	55	37	27	35	58	50	21	28.5	78	48
11	10	15.3	84	71	21	29	57	47	27	31.3	33	49	22	26.9	67	55
12	10	15.6	88	59	18	28.1	57	46	24	35	38	26	21	28.6	65	48
13	9	12.3	87	74	22	30.3	41	19	21	32.2	50	20	21	31.6	55	43
14	8	15.5	92	67	21	30.8	45	35	22	29.7	49	31	22	33	56	32
15	11	19.6	77	43	16	27.8	81	37	22	28	37	28	23	33.5	47	40
16	13	19.6	76	52	15	18.7	63	51	24	30	35	24	24	29.1	65	50
17	20	24.9	60	47	17	18.7	65	56	22	33	44	23	24	32.4	56	46
18	14	21.7	98	61	15	25	56	40	25	35	38	24	24	30.9	37	45
19	13	22.4	76	56	14	23.1	72	44	26	35.5	42	23	25	34.7	35	20
20	15	22.5	74	49	17	23	45	26	25	36.3	32	21	25	34.5	37	18
21	15	27.2	74	36	20	26.7	44	25	27	38.4	48	19	25	32	49	24
22	17	30	46	24	21	30.1	37	21	23	33.5	33	33	24	31	57	36
23	16	26	60	30	22	31	49	27	22	32	35	14	24	31.1	50	33
24	21	31	41	25	22	32	35	24	21	29.8	54	32	24	31.1	44	29
25	23	34	47	20	24	34.8	44	23	23	30.4	40	22	23	31.8	55	29
26	18	36.4	65	15	21	32	55	34	23	32.5	43	24	24	31.8	49	34
27	21	30.2	55	34	25	33.3	52	19	26	34.4	32	22	22	32.5	49	25
28	15	30	71	30	22	35	63	24	25	36.1	50	23	23	34	28	29
29	12	20	67	36	21	32.8	75	35	26	37	47	26	25	35.7	39	16
30	14	23.8	53	34	21	30	54	41	28	36.8	49	33	24	32.4	38	19
31	11	24.3	68	43	21	32.9	33	42	30	36	44	36	25	30.2	40	30

Jours	SEPTEMBRE(2015)				OCTOBRE(2015)				NOVEMBRE(2015)				DECEMBRE(2015)			
	T° en °C	T° en °C	U en %	U en %	T° en °C	T° en °C	U en %	U en %	T en °C	T en °C	U en %	U en %	T en °C	T en °C	U en %	U en %
	00 H	14 H	23 H	14 H	00 H	14 H	23 H	14 H	00H	14 H	22 H	13 H	00 H	14 H	22 H	13 H
1	22	29	52	39	16	24	69	55	10	23	65	41	8	11	90	81
2	24	30	48	43	16	24	56	55	10	21	53	43	7	17	86	57
3	22	32.5	46	31	19	28.7	39	21	10	23	60	44	9	12	97	93
4	23	32.5	31	21	19	29	43	26	19	26	53	44	9	13	96	78
5	24	33.9	29	15	18	27.4	65	35	15	23	65	50	10	12	100	85
6	22	32.9	33	21	16	28.3	73	39	11	19	95	47	11	12	96	97
7	23	31.6	44	24	18	28.5	49	24	7	9	83	87	8	13	92	83
8	23	31.6	56	29	20	27.2	54	35	3	6	76	93	7	13	97	74
9	20	30.7	63	29	16	27.3	81	39	7	13	77	44	8	15	93	60
10	21	30.5	55	26	12	22.8	60	44	7	10	96	97	9	14	94	61
11	20	28	57	38	14	25	60	26	4	12	94	74	10	16	86	54
12	26	32.7	46	31	15	25.9	80	37	8	16	85	48	11	15	94	52
13	21	30.1	83	35	12	22.2	84	56	7	17	85	49	3	15	85	51
14	16	24.5	75	59	9	18	69	74	10	17	95	44	3	15	87	51
15	15	23	77	47	16	23	46	34	7	11	99	77	5	8	92	94
16	16	21.3	77	46	16	26.5	41	23	9	10	97	100	3	9	91	71
17	17	25	59	42	16	26.3	63	28	9	11	100	99	7	9	99	81
18	19	26.4	61	42	15	25.5	67	37	8	13	96	93	11	12	86	67
19	16	24.1	63	44	16	25.5	67	38	5	15	93	47	15	9	100	78
20	16	21.8	85	61	18	25.4	55	29	7	17	87	48	6	7	97	92
21	17	24.8	55	46	17	25.4	55	39	12	18	49	41	6	7	99	86
22	15	28.5	90	41	16	25.6	91	39	13	19	42	36	8	8	100	100
23	17	23.1	65	54	20	26.9	25	22	4	9	94	84	4	12	99	79
24	16	23.4	84	58	24	27	35	27	4	11	85	59	4	12	92	70
25	16	24.5	63	46	19	27.6	44	28	5	15	71	43	2	12	90	62
26	17	26.8	50	34	19	30.6	48	29	10	15	55	45	0	16	79	41
27	15	24.5	52	39	17	28	64	30	8	15	78	53	3	20	93	56
28	13	18.5	81	60	9	20.3	94	57	7	9	97	87	3	24	93	65
29	15	21	68	53	10	18.4	68	56	6	12	93	77	1	13	85	54
30	15	18	84	79	10	20	42	73	6	15	89	49	1	10	76	53
31	15	15	70	60	10	22	16	86	6	18	85	21	0	10	82	50

Jours	JANVIER(2016)				FEVRIER(2016)				MARS(2016)				AVRIL(2016)			
	T° en °C	T° en °C	U en %	U en %	T° en °C	T° en °C	U en %	U en %	T en °C	T en °C	U en %	U en %	T en °C	T en °C	U en %	U en %
	00 H	14 H	22 H	13 H	00 H	14 H	22 H	13 H	00 H	14 H	22 H	13 H	00 H	14 H	23 H	14 H
1	0	10	84	53	6	15	83	46	6	15	89	63	9	16.5	67	41
2	2	11	64	38	8	15	93	56	6	19	82	45	7	16	61	40
3	3	14	62	36	6	13	93	77	8	22	93	35	7	14.6	72	30
4	4	12	79	55	7	13	91	68	9	14	63	58	8	15.8	59	39
5	5	12	95	66	7	13	81	75	8	13	93	70	11	20.4	66	67
6	0	10	80	63	5	11	95	75	9	14	93	79	6	13.7	91	52
7	0	10	72	34	8	14	73	61	9	16	90	72	6	11.9	86	63
8	-1	15	58	68	1	14	91	78	9	18	85	58	7	14.4	82	55
9	-2	8	83	58	1	8	81	61	8	20	81	40	10	17	70	49
10	5	6	99	61	5	15	70	38	8	23	55	36	11	19	70	37
11	2	5	93	75	8	16	36	25	7	23	80	38	9	16.5	83	58
12	2	10	91	73	12	16	45	34	10	20	77	49	9	20.3	23	22
13	7	12	93	51	6	11	97	61	6	14	97	63	12	23	42	26
14	0	4	90	89	5	13	85	62	10	22	83	58	16	24.6	51	24
15	2	5	91	74	4	13	90	60	6	17	90	69	14	23.4	63	32
16	4	6	92	93	5	15	87	59	6	15	69	55	13	22.7	62	37
17	-3	5	94	89	4	16	95	48	8	17	70	52	16	27.5	49	20
18	0	1	96	75	3	10	92	90	5	16	66	53	19	25.2	38	32
19	0	1	76	75	7	11	91	74	9	18	74	54	15	25.9	61	33
20	2	1	100	77	7	13	83	66	9	14	82	67	12	17	58	54
21	0	1	98	97	10	18	78	56	8	14	81	73	11	19.5	62	58
22	3	3	95	99	12	15	84	75	5	14	90	73	14	19.1	37	33
23	3	3	97	97	8	14	92	70	5	11	97	81	15	22	34	33
24	3	6	93	99	8	11	92	79	2	5	96	97	14	23.5	57	30
25	3	9	77	74	5	10	95	93	7	14	82	61	15	20.1	53	48
26	7	10	67	58	5	12	92	70	9	20.4	68	25	14	24.4	82	43
27	4	11	92	54	6	16	94	55	7	14	54	11	13	24.1	82	36
28	5	5	95	91	6	14	96	60	9	15.5	40	47	13	19.7	73	52
29	2	9	97	76	6	12	98	41	7	15	26	83	14	19.4	80	60
30	4	13	87	47	6	10	100	29,6	10	20.5	12	20	15	19.2	81	55
31	7	15	77	53	6	8	102	18,2	9	20.4	2	40	16	19.0	73	50

Annexe.3

Performance of multilayered LDPE films used as greenhouse cover in semiarid climate

M Aouinet¹, K Djakhdane¹, A Dehbi¹ ,
D Castronuovo² and P Picuno²

Abstract

The low-density polyethylene films used for greenhouse roof were naturally weathered for 9 months in harsh climatic conditions (Tiaret region, Algeria). The changes in the mechanical properties have been measured by tensile and creep-recovery tests. The measurements were carried out for both monolayer and tri-layer films. The anisotropic character of the films is preserved during ageing. The improvement in the creep resistance via cross-linking for both monolayer and tri-layer films affects different deformations. The results revealed that the degradation performance of these new tri-layer films is found to be quite better than that of the monolayer film, with regard to the mechanical properties.

Keywords

Multilayer films, LDPE films, mechanical properties, greenhouse, creep-recovery tests

Introduction

Temperature, ultraviolet (UV) radiation and humidity considered as the harsh climatic conditions are the most detrimental factors in the ageing of the polymeric greenhouse covers.^{1–3} There is an increasing demand on the use of greenhouses due to their impact on agriculture. The main component in the greenhouse is its cover film. Low-density polyethylene (LDPE) is one of the most widely used materials in plasticulture, and its utilization as agricultural greenhouse covers is a common application. The main properties that have ensured its success are especially its lightness and transparency.

¹ Engineering Physics Laboratory, University Ibn Khaldoun, Tiaret, Algeria

² SAFE School, University of Basilicata, Potenza, Italy

Corresponding author:

A Dehbi, Engineering Physics Laboratory, University Ibn Khaldoun, BP 78, Zaaroura, 14000 Tiaret, Algeria.

Email: abddehbi@gmail.com

However, despite its good chemical inertness, polyethylene, such as all organic substances, degrades slowly under the combined influence of heat, solar UV radiation, mechanical stress and chemical agents.⁴ They have shown that molecular orientation during film blowing influences tensile properties and are higher in the direction of the covalently bonded carbon–carbon chain than in the transverse direction that is dominated by weaker van der Waals bonds. Climatic conditions such as solar irradiation, temperature, humidity, rain, wind loads and environmental pollution influence ageing and mechanical properties of LDPE greenhouse covers.⁵ This type of ageing leads to significant microstructural changes in the LDPE films. Indeed, macromolecules are altered mainly by the oxidation process that results either in cross-linking or in chain scission reactions as previously revealed by Fourier transform infrared spectroscopic analysis.⁶

The creep behaviour of polyethylene has been extensively studied in the literature.^{7–10} The creep behaviour of polyethylene films is mainly controlled by deformation of the amorphous phase, which itself is strongly affected by the variation of the crystallinity and the tautness of the tie molecules. Using agricultural composites to develop structural building products often requires improvement of their mechanical properties, especially the creep performance. Previous studies in the field show that the creep of agricultural composites varies with the type and content of matrices, coupling treatment, where the relative performance of the fibre–matrix interface is significant compared with the viscoelastic properties of the compounds.^{11,12}

In this work, the effects of ageing on the mechanical proprieties and creep behaviour of a film made of tri-co-extruded layers of LDPE in a harsh environment of varying temperature and UV radiation are investigated. The exposure has been performed over a time period ranging from 0.0 h to 6480 h (9 months). This study could be extended to cover more areas with different environmental conditions to establish a generalized standard.

Materials and methods

Two different films, produced and supplied by Agrofilm SA (Setif, Algeria), were used in this study. The first is an extruded monolayer LDPE film (before extrusion) that has a density of 0.923 g/cm³, and the weight-average molecular weight is in the range 90,000–120,000 g/mol. The melt flow index (MFI) of the raw LDPE is 0.33 g/10 min, and the MFI with stabilizer is 10 g/10 min, with a thickness of 180 µm. The second is a three-co-extruded layer LDPE film with the same thickness as the monolayer film (180 µm) and with the following proportions in the layers: 1/4, 1/2 and 1/4. The initial colour of the film is milky yellow. The main aim of this work is to contribute to broaden the pool of the available data and information for the adaptation of plastic films used as greenhouse cover, the exposition took in the regions of North Africa (Sahara and sub-Saharan). The real composition of the film is not known (kept confidential by the supplier).

Table 1. The power emitted and the average temperature/moisture during ageing.

Location	North Africa (Tiaret, Algeria)		
	Time of ageing (months)	T (°C)	H (%)
1 (May)	19	44	1.72
2 (Jun)	29	34	1.99
3 (Jul)	34	29	2.69
4 (Aug)	32	34	2.04
5 (Sep)	27	43	1.92
6 (Oct)	25	40	1.87
7 (Nov)	15.50	62	1.64
8 (Dec)	12.5	70	1.57
9 (Jan)	8	69	1.47

Ly: Langleys.

Two greenhouses of 14.5 m length, 8 m width and 3.5 m height have been built specially for studying the effect of the natural ageing on the performance of the LDPE cover. Samples have been taken every month over a duration of 9 months. To ensure data reproducibility, large square samples of 20 cm sides were cut, at each ageing period, from the cover from which sufficient test samples were prepared to conduct the experiments required. The climatic conditions undergone by the roof are displayed in Table 1. The climatic condition was classical and standard in North Algeria.^{2,13,14}

The study of the ageing of polyethylene through weathering is of great importance for the development of more resistant materials than those available in the past and of additives that will extend the durability of such polymers.¹⁵ Among all of the ageing factors, solar radiation, mainly its UV component, plays the main role. Based on this assumption, the global energy from the sun reaching an area is usually accepted within the international technical and scientific literature as a general parameter expressing the global conditions of the area where the plastic material will be installed. The amount of global energy is calculated as the integral of the solar power coming from the sun and is expressed in Langleys (Ly), the unit of energy distribution over an area¹⁶:

$$1\text{Ly} = 1 \text{ cal/cm}^2 = 41,840 \text{ J} = \text{m}^2$$

The degradation is a complicated non-linear time-dependent process that affects directly, or indirectly, several properties of the material related to its functional characteristics. In its final stage of degradation, a material does not meet its functional requirements and is easily prone to mechanical failure. As a practical rule, the useful life of a material is considered to be reached when its initial mechanical strength is reduced by 50%.^{13,17}

The tensile tests were performed using a universal testing machine (Instron model 4301) with a load cell of 5 kN. All tests have been performed at room temperature with a

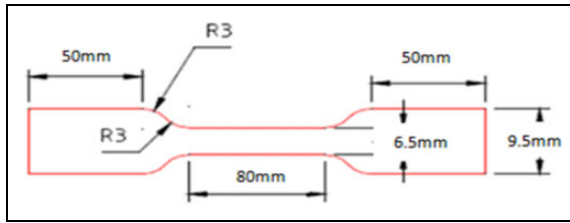


Figure 1. Geometry of flat tensile test pieces.

cross head speed of 50 mm/min and under displacement controlled conditions. The specimens used have the following dimensions: width = 9.5 mm, initial overall length = 200 mm, initial length between the jaws = 80 mm and thickness = 6.5 mm. Figure 1 shows schematic drawing for the used standard (according to ISO 527-3, DIN 53448-A, ASTM D882) specimen.

The smooth test pieces were taken from the extruded plates, in the direction of extrusion, using a punch. The geometry corresponds to ASTM D638 IV (Figure 1).

Results and discussion

Effect on the mechanical behaviour

To measure the quantitative estimation of the effects of natural ageing on the mechanical performances of the monolayer and trilayer films, the mechanical behaviour of the unaged/virgin and naturally (up to a period of 9 months) ageing samples (up to a period of 6480 h) was evaluated by conducting a tensile test. The load was applied on the specimen in a direction parallel to the average molecular orientation obtained during the film processing.

For comparing the deteriorative effect of ageing between the monolayer and the trilayer films, each two corresponding curves are plotted together at different ageing periods as shown in Figure 2.

For each ageing time, nine test pieces are tested and analysed to take into account the dispersion of the results.

The results are presented in the form of curves connecting the stress with the deformation. The stress corresponds to the force measured by the Instron sensor related to the initial section of the specimen. The deformation corresponds to the displacement of the crossbar reported to the effective length of the test pieces.

Figure 2 shows the stress–strain diagrams for unaged and naturally aged monolayer films and the curves for tri-layer films. The curve for unaged film is included to illustrate the effect of different ageing periods on the properties of both types of films (monolayer and tri-layer) when compared with unaged films.

In order to overcome the plasticizing effect of water on the one hand and to decouple the effects of thermal ageing from the effects of thermohydric ageing on the other hand, the overall evolution of tensile behaviour is shown as the stress–strain diagrams for

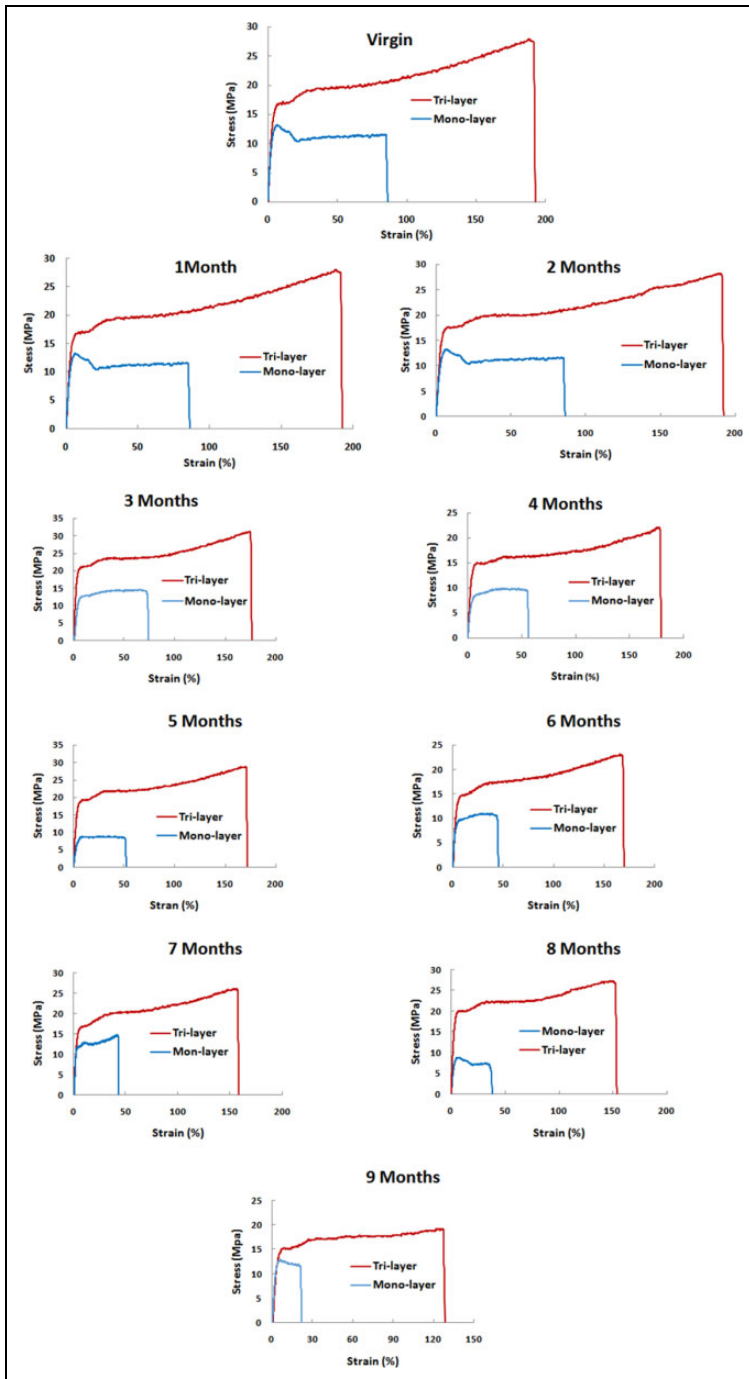


Figure 2. Stress–strain curves of monolayer and tri-layer films at different ageing periods.

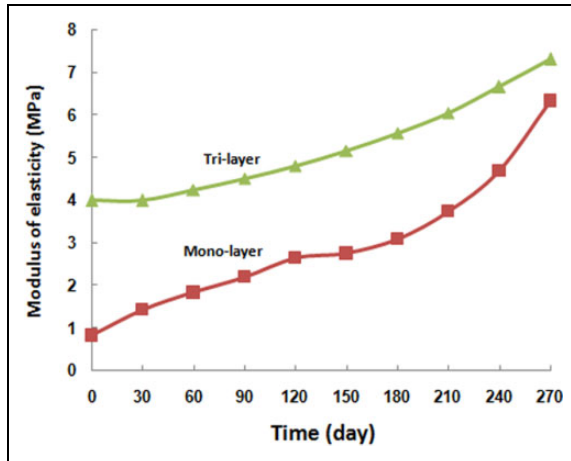


Figure 3. Variation of modulus of elasticity E with ageing.

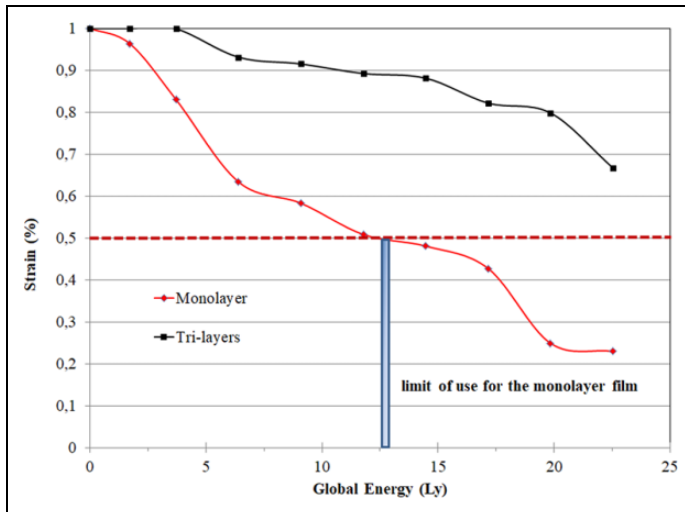


Figure 4. Variation of the normalized fracture strain with global energy.

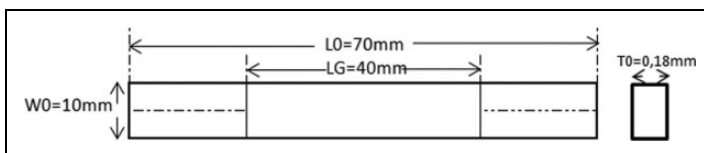


Figure 5. Tensile test specimen geometry.

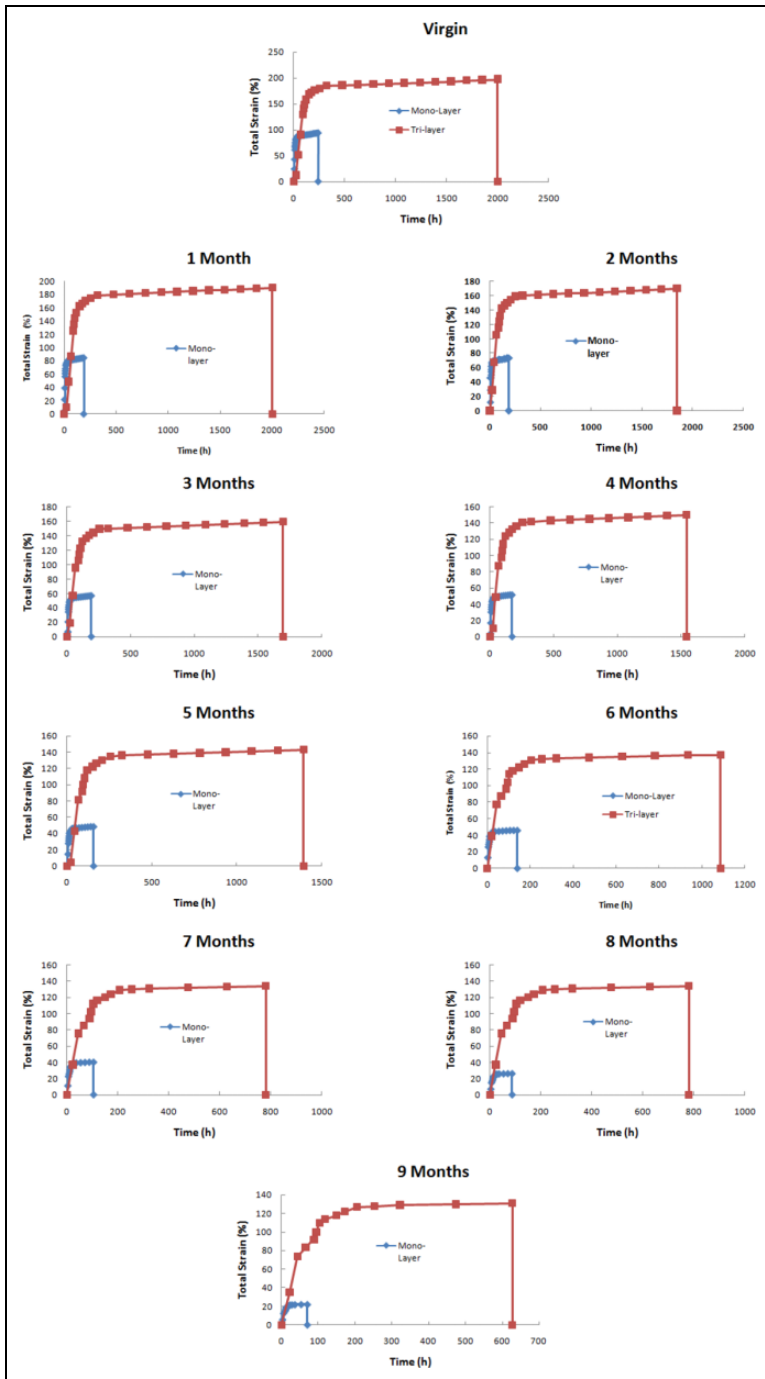


Figure 6. Total strain curves of monolayer and tri-layer films at different ageing periods.

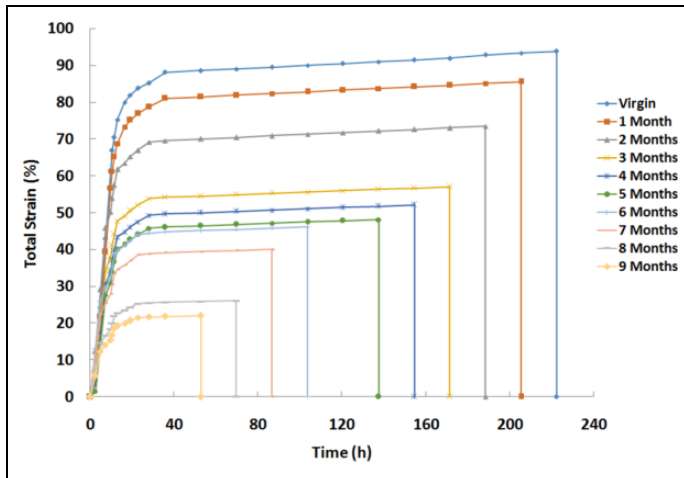


Figure 7. Ageing effects on the creep-recovery of monolayer LDPE. LDPE: low-density polyethylene.

unaged and naturally aged monolayer and tri-layer films, and on the nine specimens, the repeatability is rather good for each ageing condition.

As all curves of monolayer and tri-layer films exhibit almost an initial linear relationship, the modulus of elasticity E is determined as the slope of the first portion of the tensile curve. The variation of E with ageing time for the tri-layer and monolayer films is given in Figure 3.

To get the limit of use service time based on the 50% loss in the initial film property criterion, one can draw the variation of the normalized property with the ageing (global energy). It is noticed from Figure 4 that the strain at break for each film reduces to 50% of the unaged film value at specific ageing time depending on the global energy produced from sunlight. Figure 4 shows that the monolayer film supports only 12.5 Ly, but for the tri-layer films it can go up to 25 Ly, that is, almost doubled.

Creep experiments

The creep tester was developed in the laboratory of Engineering Physics. The dimensions of the pieces are described in Figure 5. The creep tests were conducted by applying a constant load delivering an initial stress of 1500 g for a duration of 24 h by specimen. The recovery starts immediately after the stress removal and for a period of 24 h as well.¹⁸ The creep-recovery behaviour was calculated for different exposure time (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9 months).

Effect on the creep-recovery behaviour

The creep test behaviour of the unaged/virgin and naturally aged films (up to a period of 9 months) was evaluated by conducting the creep-recovery test. The load was applied on a specimen in a direction parallel to the average molecular orientation obtained during

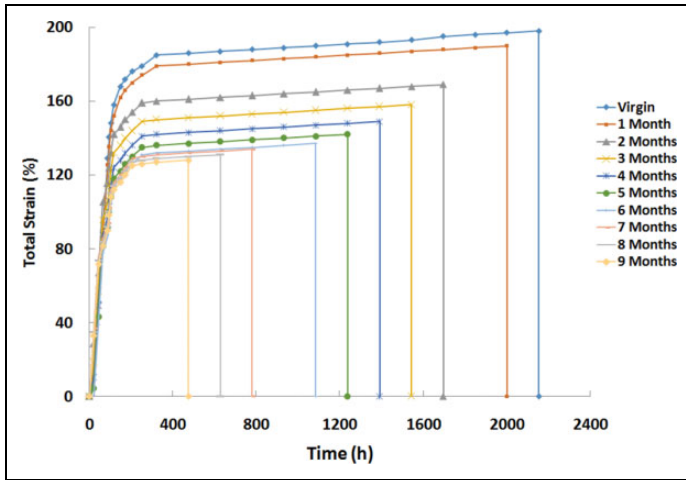


Figure 8. Ageing effects on the creep-recovery of tri-layer LDPE. LDPE: low-density polyethylene.

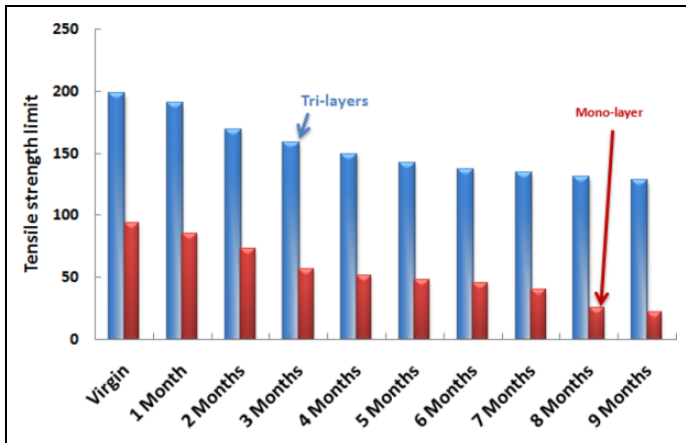


Figure 9. Tensile strength limit during loading as a function of the creep time.

the film processing. The instantaneous elastic strain as a function of the time has been recorded for each film. After stress, much of the deformation is almost instantaneously recovered. A quantitative estimation of the effects of natural ageing on the mechanical performances of the film is then done based on the knowledge of the measured properties.

For comparing the deteriorating effect of ageing between the monolayer and tri-layer films, each two corresponding curves are plotted together at different ageing periods as shown in Figure 6. The levels of the stresses at the same ageing period for tri-layer films are quite higher than those for the monolayer.¹⁹⁻²¹

Table 2. The average stress and average strain during ageing.

Time of ageing (months)	Virgin	1 (May)	2 (Jun)	3 (Jul)	4 (Aug)	5 (Sep)	6 (Oct)	7 (Nov)	8 (Dec)	09 (Jan)
<i>e</i> (%)										
Monolayer	89, 56	86, 27	74, 32	56, 76	52, 21	45, 55	43, 05	38, 28	22, 32	20, 59
Tri-layer	192, 54	192, 5	192, 32	179, 2	176, 2	171, 78	169, 65	158, 21	153, 7	128, 44
<i>a</i> (MPa)										
Monolayer	16, 25	11, 5	14, 18	9, 53	8, 38	10, 73	14, 58	7, 28	11, 58	11, 8
Tri-layer	27, 45	27, 88	27, 98	30, 95	22, 02	28, 68	22, 83	25, 9	27, 18	19, 15
<i>E</i> (MPa)										
Monolayer	0, 82	1, 435	1, 83	2, 2	2, 64	2, 75	3, 1	3, 73	4, 7	6, 33
Tri-layer	3, 99	3, 99	4, 24	4, 51	4, 82	5, 17	5, 58	6, 5	6, 66	7, 31

E: modulus of elasticity; *a*: fracture stress; *e*: elongation at break.

Figure 7 shows the total strain curves of monolayer and tri-layer films at different ageing periods for unaged and aged films at 9 months. The strain–time diagrams for all samples of monolayer and tri-layers increases almost linearly (in the first region of the curve) and then the curve becomes non-linear (in the second region). All samples exhibit the same behaviour trend regardless of ageing conditions and type.

Figures 7 and 8 shows typical creep-recovery curves of monolayer and tri-layers of polyethylene films for different exposure time periods stretched along the machine direction. The analysis of the mechanical proprieties of samples shows the value of the instantaneous elastic strain.

Figure 9 represents the variations of strain during loading for the two films and the different ageing stages. The behaviour of the ultimate properties confirms the fact that cross-linking is predominant during the first 4 months of ageing. According to the diagrams of stress–strain and the graph of elasticity modulus, we can group together all the variations of strain, stress and elasticity modulus for monolayer and tri-layer films in Table 2.

Conclusion

The impact of natural ageing on the characteristics of the LDPE monolayer and tri-layer films' performance has been investigated. Correlation between the effects of both types of ageing has also been made. The essential degradation in the mechanical characteristics (modulus of elasticity E , fracture stress a and elongation at break e) has been evaluated. The mechanical properties of both films were deteriorated due to the exposure to the environmental conditions (e.g. solar radiation and temperature). The results of this work revealed that degradation of the mechanical properties is interrelated to the weathering and ageing process. With regard to the resistance to weathering and the effect of UV radiation, high temperature is concerned, monolayer and tri-layer cover is considered to be inherently more stable and can withstand 9 months of exposure without exceeding the 50% deterioration in the mechanical properties. Generally, the erosion of the greenhouse LDPE film by temperature, water, sand particles, wind and humidity leads to extreme life time limits. This study also shows that the LDPE film may have longer period of use in Europe (low temperature and sand–wind effects) than in North Africa (high temperature and adverse sand–wind effects).

Acknowledgements

The authors would like to thank Mr Cosimo Marano – technical staff at the SAFE School of the University of Basilicata – for his kind support in performing the experimental tests.

Declaration of Conflicting Interests

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship and/or publication of this article.

ORCID iD

A Dehbi  <http://orcid.org/0000-0002-4056-1684>

References

1. Dehbi A, Mourad AHI, Djakhdane K, et al. Degradation of thermomechanical performance and lifetime estimation of multilayer greenhouse polyethylene films under simulated climatic conditions. *Poly Eng Sci* 2015; 55(2): 287–298.
2. Dehbi A and Mourad AI. Durability of mono-layer versus tri-layers LDPE films used as greenhouse cover: comparative study. *Arab J Chem* 2016; 9(1): S282–S289.
3. Dehbi A, Mourad AHI and Bouaza A. Ageing effect on the properties of tri-layer polyethylene film used as greenhouse roof. *Procedia Eng* 2011; 10: 466–471.
4. Mourad AHI. Thermo-mechanical characteristics of thermally aged polyethylene/polypropylene blends. *Mat Design* 2010; 31(2): 918–929.
5. Gruenewald G. *Plastics: how structure determines properties*. Munich: Hanser Publishers, 1992.
6. Chabira SF, Sebaa M and G'sell C. Influence of climatic ageing on the mechanical properties and the microstructure of low-density polyethylene films. *J Appl Polym Sci* 2008; 110(4): 2516–2524.
7. Zhou H and Wilkes GL. Creep behaviour of high density polyethylene films having well-defined morphologies of stacked lamellae with and without an observable row-nucleated fibril structure. *J Polymer* 1998; 39(16): 3597–3609.
8. Doh GH, Kang IA, Lee SY, et al. Mechanical properties and creep behavior of liquefied wood polymer composites (LWPC). *J Compos Struct* 2005; 68(2): 225–233.
9. Babaghayou MI, Mourad AHI, Lorenzo V, et al. Anisotropy evolution of low density polyethylene greenhouse covering films during their service life. *Polymer Testing* 2018; 66: 146–154.
10. Hidalgo-Salazar MA, José HM and Pedro JHF. The effect of interfacial adhesion on the creep behaviour of LDPE–Al–Fique composite materials. *Compos B Eng* 2013; 55: 345–351.
11. Acha BA, Reboredo MM and Marcovich NE. Creep and dynamic mechanical behavior of PP–jute composites: effect of the interfacial adhesion. *Compos A Appl Sci Manuf* 2007; 38(6): 1507–1516.
12. Sain MM, Balatinez J and Law S. Creep fatigue in engineered wood fiber and plastic compositions. *J Appl Polym Sci* 2000; 77: 260–268.
13. Dehbi A, Bouaza A, Hamou A, et al. Artificial ageing of tri-layer polyethylene film used as greenhouse cover under the effect of the temperature and the UV-A simultaneously. *Mat Design* 2010; 31(2): 864–869.
14. Dehbi A, Youssef B, Picuno P, et al. Physical and gas permeation properties of five-layer polyethylene film used as greenhouse roof. *J Agric Eng* 2018. Available at: <http://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/797>.
15. Gulmine JV, Janissek PR, Heise HM, et al. Degradation profile of polyethylene after artificial accelerated weathering. *Polym Degrad Stab* 2003; 79: 385–397.

16. Picuno P. Innovative material and improved technical design for a sustainable exploitation of agricultural plastic film. *Poly Plast Technol Eng* 2014; 53(10): 1000–1011.
17. Briassoulis D and Aristopoulou A. Adaptation and harmonisation of standard testing methods for mechanical properties of low-density polyethylene (LDPE) films. *Poly Testing* 2001; 20(6): 615–634.
18. Benmiloud NH, Sebaa M, Chabira SF, et al. Ageing effects on the creep-recovery behavior of blown extruded low density polyethylene film. *J Appl Polym Sci* 2016; 133(46): 442069.
19. Mourad AHI and Dehbi A. On use of trilayer low density polyethylene greenhouse cover as substitute for monolayer cover. *Plast Rubber Compos* 2014; 43(4): 111–121.
20. Djakhdane K, Dehbi A, Mourad AHI, et al. The effect of sand wind, temperature and exposure time on tri-layer polyethylene film used as greenhouse roof. *Plast Rubber Compos* 2016; 45(8): 346–351.
21. Dehbi A, Djakhdane K and Mourad AHI. Impact of degradation of polyethylene films under simulated climatic conditions on their mechanical behaviour and thermal stability and lifetime. *Am Soc Mech Eng Press Vessels Pip Div (PVP) A B* 2012; 6: 131–135.

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير الشيخوخة الطبيعية على خصائص رقائق أفلام البلاستيك الأحادية و الثلاثية للبولي ايتيلين منخفض الكثافة حيث نجم عن الاثار المترتبة لكلا النوعين تقييم التشوه و الاجهاد لتحديد أسباب التدهور التي تعود إلى الظروف البيئية التي تساهم بشكل كبير في تغير الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للفيلمين حيث بينت النتائج المتحصل عليها أن تردي الخواص يرتبط ارتباطا وثيقا بعملية التجوية و الشيخوخة فيما تعلق بمقاومة العوامل الجوية و تأثير الاشعاع الشمسي و درجة الحرارة و بمقارنة النوعين نستخلص إلى أن ثلاثي الطبقات أكثر استقرارا حيث يمكن أن يحتمل 9 أشهر دون تجاوز 50 % مندهور الخواص الميكانيكية لرقائق الافلام للبولينايتلين بصورة عامة تاكل الرقائق البلاستيكية نتيجة الحرارة، الرطوبة، الماء و حبيبات الرمل مما يؤدي الى تقليص مدة الصلاحية و الاستعمال في حين يمكن استعمال هذه الافلام لمدة اطول في المناطق الاوروبية.

Abstract

In this work we have investigated the impact of natural ageing on the characteristics of the LDPE monolayer and tri-layerfilms' performance. We noticed a correlation between the effects of both typesof ageing and an essential degradation in the mechanical characteristics(modulus of elasticity (e), fracture stress (a) and elongation at break e) has been evaluated. The mechanical properties of both films were deteriorated due to the exposure to the environmental conditions (e.g. solar radiation and temperature). The results of thiswork revealed that the degradation of mechanical properties is interrelated to theweathering and ageing process, with regard to the resistance to weathering, UV radiation effect and temperature. By comparing both monolayer and tri-layer films it appears that the tri layer film is more stable and can withstand 9 months of exposure withoutexceeding the 50% deterioration in the mechanical properties. Generally, the erosion ofthe greenhouse LDPE film by temperature, water, sand particles, wind and humidityleads to extreme life time limits. This study also shows that the LDPE film may have longer period of use in Europe (low temperature and sand-wind with small effects) than in NorthAfrica (high temperature and adverse sand-wind effects).

Résumé

Dans ce travail nous étudié l'impact du vieillissement naturel sur la performance des caractéristiques des films PEbd monocouche et tri-couches. On a également établi une corrélation entre les effets des deux types de vieillissement et une évaluation de la dégradation essentielle des caractéristiques mécaniques (module d'élasticité E, contrainte de rupture a et allongement à la rupture e). Les propriétés mécaniques des deux films se sont détériorées en raison de l'exposition aux conditions environnementales (p. ex., rayonnement solaire et température).Les résultats de ces travaux ont révélé que la dégradation des propriétés mécaniques est étroitement lié au processus d'altération climatique et de vieillissement. En ce qui concerne la résistance à l'altération climatique et l'effet de rayonnement ultraviolet, la température élevée est concernée. En comparant les deux types de films, on remarque le monocouche et tri-couche il résulte que ce dernier est plus stable et peut résister à 9 mois d'exposition sans excéder une dégradation de 50% des propriétés mécaniques. En général, l'érosion du film PEbd de serre par la température, l'eau, les particules de sable, le vent et l'humidité limite la durée de vie. Cette étude montre également que le film PEbd peut avoir une plus longue période d'utilisation en Europe (basse température et effets faibles du vent de sable) que dans le Nord d'Afrique (températures élevées et effets néfastes du vent de sable).