

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés
Laboratoire des LMPA

Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie des Procédés des matériaux

Présenté par

DJAGHMOUM Roza et GHEBRIOUA Siham

Thème

Etude de vieillissement naturel climatique des films tri-
couches en PEBD avec et sans anti-UV

Soutenue le 30/06/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
DJIDJELLI Hocine	Prof	Université de Bejaia	Encadrant
BOUKERROU Amar	Prof	Université de Bejaia	Président
HAMMICHE Dalila	MCA	Université de Bejaia	Examinatrice
IHAMOUCHENE Chadia	MCA	Université de Bejaia	Examinatrice

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

Tout d'abord, on remercie ALLAH, le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la volonté de mener à bien ce modeste travail. On tient à remercier vivement et sincèrement notre encadrant DJIDJELLI Hocine qui a contribué et assuré la direction de ce travail, pour tout le soutien, les orientations et la patience qu'il a manifestés durant son encadrement tout le long de la réalisation de ce mémoire. On souhaite exprimer notre gratitude aux membres du jury le Président Mr BOUKERROU Amar et les examinatrices M^{me} HAMMICHE Dalila et M^{me} IHAMOUCHEH pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions. On tient aussi à remercier vivement et sincèrement les enseignants Mr TIGHZERT Hamid, Mr AZNI Mohamed, Mr LILLOUCH Samir et nos amies Aicha et Sonia qui nous ont aidés pour la réalisation de ce travail. Et on remercie également l'équipe Meri Plast pour son aide précieuse. Enfin, nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, apporté aide et encouragements.

Merci à tous.

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi, et surtout pour son amour.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

A toute ma famille,

A mes deux nièces Manou et Lilou,

A mon petit neveu Dylou,

A mes frères Nassim et Khaled,

A mon unique sœur Lydia,

A ma tante Dadou et ma cousine Amel,

Au plus cher à mes yeux Samir,

A ma meilleure amie Yasmine ainsi que mes amies Kenza, Nadjet et Hanane et ma binôme Siham,

A tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce modeste travail,

Enfin, à tous ceux qui m'aiment.

A vous...

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi, et surtout pour son amour.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

A toute ma famille,

A mes deux nièces Manou et Lilou,

A mon petit neveu Dylou,

A mes frères Nassim et Khaled,

A mon unique sœur Lydia,

A ma tante Dadou et ma cousine Amel,

Au plus cher à mes yeux Samir,

A ma meilleure amie Yasmine ainsi que mes amies Kenza, Nadjet et Hanane et ma binôme Siham,

A tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce modeste travail,

Enfin, à tous ceux qui aiment.

A vous...

Roza

Dédicace

C'est grâce à Allah j'ai pu achever ce travail, je le dédie à :

- ❖ *A ma mère, pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices.*
- ❖ *A mon père pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordé.*
- ❖ *Mes chers frères walid, mohamed et mes sœurs kenza, zebida.*
 - ❖ *A ma cher tante Sakina et mon oncle Nordinne*
 - ❖ *Mes cousins, Rezak, Massine, Billal et Moumen*
- ❖ *A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom GHEBRIOUA.*
- ❖ *Mes chers amis(e) et tous ceux qui m'ont aidé, Roza, Kenza, Hanane, Aicha, Yasmine, karima et Nadjet.*
 - ❖ *A tous mes enseignants.*
- ❖ *A tout la promotion de génie des procédés des matériaux 2022*
 - ❖ *Enfin, a tous ceux qui m'aiment...*

SIHAM GHEBRIOUA

Table des matières

Liste des figures	vi
Liste des tableaux	ix
1 Les polymères utilisés comme couverture des serres agricoles	3
1.1 Définition des matières plastiques	3
1.1.1 Les polymères	3
1.1.1.1 Les thermoplastiques	3
1.1.1.2 Les thermodurcissables	4
1.1.1.3 Les élastomères	4
1.2 Propriétés des polymères	4
1.3 Fabrication des polymères	5
1.4 Les polymères utilisés dans les serres agricoles	5
1.4.1 Les matériaux plastiques rigides	6
1.4.1.1 EVA - acétate de vinyle	6
1.4.1.2 PVC- chlorure de polyvinyle	6
1.4.1.3 PA - Polyamide	6
1.4.1.4 EVOH - éthylène alcool vinylique	6
1.4.2 Les matériaux plastiques souples (films)	6
1.4.2.1 Le polyéthylène	6
1.5 Les serres agricoles	10
1.5.1 Définition	10
1.5.2 Choix de la serre et sa couverture	10
1.5.3 Types de serres	11

1.5.3.1	Les serres à couvertures rigides (verres et plastiques rigides)	11
1.5.3.2	Les serres à couvertures plastiques	11
1.5.3.3	La serre tunnel simple	12
1.5.3.4	Les serres tunnel spid	13
1.6	Statistiques	13
2	Viellissement du polyéthylène	15
2.1	Viellissement des matières plastiques	15
2.2	Viellissement des serres agricoles à base de polyéthylène	15
2.3	Types et mécanismes de vieillissement du PE	16
2.3.1	Viellissement artificielle	16
2.3.1.1	Viellissement photochimique	16
2.3.1.2	Viellissement thermique	16
2.3.1.3	Viellissement hydrothermique	18
2.3.2	Viellissement naturel	18
2.3.2.1	Le rayonnement solaire	18
2.3.2.2	La température	19
2.3.2.3	L'oxygène et l'ozone	19
2.3.2.4	L'humidité et la pluie	20
2.3.2.5	Le vent	20
2.3.2.6	La neige, la grêle et le sable	20
2.3.2.7	Autres facteurs	21
2.4	Fonctionnement d'une serre avec les échanges de chaleur	21
2.4.1	Climat sous la serre	22
2.4.2	Source d'énergie dans les serres	23
2.4.2.1	Géothermie	23
2.4.2.2	Energie solaire	23
2.5	Différents échanges thermiques dans la serre	23
3	Matériels et méthodes	25
3.1	Les matériaux	25

3.2	Protocoles d'exposition	25
3.2.1	Protocoles de vieillissement artificiel	26
3.2.2	Protocoles de vieillissement naturel	26
3.3	Les méthodes	27
3.3.1	Essais de tractions	27
3.3.2	Spectroscopie Infrarouge	28
3.3.3	Mesure de l'indice de fluidité	29
4	Résultats et Discussions	31
4.1	Effet vieillissement naturel	31
4.1.1	Effet du vieillissement naturel sur la structure du PEBD tricouche	31
4.2	Effet du vieillissement accéléré	33
4.2.1	Effet du vieillissement accéléré sur la structure du PEBD tri- couche	33
4.3	Propriétés mécaniques (Test de traction)	36
4.3.1	Effet du vieillissement naturel est accéléré sur les propriétés à la traction	36
4.4	Indice de fluidité (MFI)	37
	Conclusion	39

Liste des figures

1.1	Protocole d'élaboration des polymères	5
1.2	Représentation des étapes du cycle de vie à maîtriser pour assurer une meilleure gestion patrimoniale du polyéthylène.	9
1.3	Serre de type Venlo.	11
1.4	Serre tunnel à couverture plastique.	12
1.5	Serre tunnel spid.	12
1.6	Serre multi chapelles.	13
2.1	Distribution spectrale du rayonnement électromagnétique.	19
2.2	Échanges radiatifs entre les composantes de la serre et son environnement, en période diurne et nocturne (Waquant, 2000).	24
2.3	Échanges de chaleur entre la couverture de serre avec son environnement.	24
3.1	Echantillons vierges du PEBD sans anti-UV dans l'étuve	26
3.2	Echantillons vierges du PEBD avec anti-UV dans l'étuve	26
3.3	Les deux supports réalisés pour l'étude du vieillissement naturel	27
3.4	Dimensions et forme de l'éprouvette normalisée.	27
3.5	Photographie de la machine de traction de marque Universel ZwickRoell avec testControl II	28
3.6	Photographie de l'appareil de mesure de l'indice de fluidité.	29
4.1	Spectres FTIR du PEBD sans anti-UV vierge et vieilli.	32
4.2	Spectres FTIR du PEBD avec anti UV vierge et vieilli.	33
4.3	Spectres FTIR du PEBD sans anti-UV vierge et vieilli.	34

4.4	Spectres FTIR du PEBD avec anti-UV vierge et vieilli.	35
4.5	Histogramme de l'allongement à la rupture des échantillons vierges et vieillis.	36
4.6	Histogramme du module de Young des échantillons vierges et vieillis.	37
4.7	Histogramme du MFI des échantillons vierges et vieillis.	38

Liste des tableaux

1.1	Propriétés physico-chimiques du PE	7
1.2	Méthodes de transformation du polyéthylène	8
1.3	Nombre de serres agricoles disponible au niveau de la wilaya de Bejaia (2021/2022)	14
2.1	Principaux agents climatiques influençant le vieillissement naturel [20]	19
3.1	Propriétés mécaniques du film PEBD tri-couches.	25
4.1	Bandes d'absorption du PEBD.	31

Introduction

La plasticulture est un terme nouveau qui fait référence à l'utilisation des plastiques dans le domaine de l'agriculture. La durée d'utilisation des matériaux plastiques est relativement courte par rapport à leur durée de vie. De quelques mois à quelques années suivant les conditions d'usages et d'environnement. La dégradation des polymères en utilisation extérieure est essentiellement due aux radiations UV du spectre solaire [1, 2]. La photo dégradation constitue l'aspect le plus important du vieillissement climatique. La sensibilité du PE en particulier, est attribuée à certains groupements chimiques susceptibles d'absorber les radiations ultraviolettes du spectre. Elle est également accentuée, par l'agressivité naturelle des conditions climatiques [3, 4] liées, au site géographique d'exposition. Ceci conduit à une diminution des propriétés mécaniques et une altération des propriétés optiques.

Le Polyéthylène fait partie des matériaux les plus utilisés en plasticulture. Les principales propriétés qui ont assuré son succès sont sa légèreté et sa transparence. Cependant, et malgré sa bonne inertie chimique, le polyéthylène, comme toutes les substances organiques, se dégrade peu à peu sous l'influence conjuguée, de la chaleur, du rayonnement solaire ultraviolet, des sollicitations mécaniques et des agents chimiques. Si les mécanismes complexes de cette dégradation restent mal connus [5], on dispose actuellement d'un nombre important de produits qui, additionnés à faibles concentrations aux polymères, les rendent plus stables à la chaleur et au rayonnement ultraviolet [6]. C'est ainsi qu'il existe aujourd'hui un nombre considérable de formulations possibles de films en polyéthylène, afin d'adapter leurs propriétés à leurs usages. Dilara et Briassoulis [7, 8] ont tenté de rassembler et de comparer les normes concernant l'utilisation des films plastiques en couverture des serres. En 1948 fut utilisé pour la première fois une serre agricole en polymère (Cellophane), par le professeur en biochimie E.M. Emmert. Le polyéthylène remplaça la cellophane en 1953. A partir des années 60, l'introduction d'éléments métalliques permit de concevoir des structures utilisant les caractéristiques propres aux plastiques souples. Dans le domaine de l'agriculture, la consommation mondiale des plastiques utilisés pour la culture protégée était de 50 Au départ, les couvertures de serre agricole

étaient des films mono couche de polyéthylène. Depuis quelques années, on trouve des films tri couches. Récemment, le film cinq couches a fait son apparition et peu de travaux sont consacrés au polyéthylène à plusieurs couches.

Ainsi, notre travail s'inscrit dans l'étude du comportement d'un film de type tri-couches, exposé à des conditions climatiques naturelles de la ville de Béjaia et des conditions artificielles sévères à température de 120°C. L'impact sur les propriétés mécaniques et rhéologiques a été étudié. L'exposition a été effectuée sur une période de temps de deux mois et demi (75 jours) pour le vieillissement naturel et de 14 jours en étuve pour le vieillissement artificiel. Cette étude pourrait être élargie pour couvrir davantage de zones avec des conditions environnementales différentes. Le mémoire est organisé en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre est consacré aux matières plastiques, les polymères en général. Ensuite, les propriétés des polymères et leur fabrication, ainsi que leur utilisation dans les serres agricoles. Enfin, la dernière partie du chapitre est consacrée aux choix et différents types de serres utilisées et les statistiques des serres agricoles disponibles au niveau de la wilaya de Bejaia.

Dans le deuxième chapitre, réservé au vieillissement du polyéthylène : le vieillissement des serres agricoles à base du polyéthylène, les types et les mécanismes de vieillissement ainsi que les échanges de la chaleur dans une serre. La méthode pour élaborer les films du PEBD tris-couches et les diverses techniques caractérisations utilisées : la Spectroscopie Infra Rouge a Transformé de Fourier pour l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le polymère, test de traction et l'indice de fluidité (MFI) sont présentés dans le chapitre trois.

Dans le quatrième et dernier chapitre, les résultats de nos expérimentations sont exposés et interprétés.

Les polymères utilisés comme couverture des serres agricoles

1.1 Définition des matières plastiques

" Matière plastique, le plastique : n.m. Matière synthétique constituée de macromolécules et qui peut être moulée ou modelée. " (Définition du Petit Robert). Sous la désignation " plastique " figure aujourd'hui de nombreux objets aussi différents qu'une bouteille d'eau, une gouttière, un sac poubelle ou des fleurs artificielles. Cette énumération d'objets pourrait être encore élargie puisque les matières plastiques ne représentent qu'une partie des matériaux macromoléculaires encore appelés polymères. Ainsi, les tissus synthétiques (Nylon, polyesters, acryliques, etc.), le revêtement en Téflon des ustensiles de cuisine ou les colles et peintures font également partie des matériaux rassemblés sous la dénomination " polymères "[10].

1.1.1 Les polymères

Les polymères constituent une classe de matériaux, c'est une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes. Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Trois grandes familles de polymères peuvent être distinguées

1.1.1.1 Les thermoplastiques

La structure des thermoplastiques se présente sous forme de chaînes moins liées. Il faut les chauffer pour les mettre en forme (les chaînes se ramollissent) et les refroidir

pour les bloquer. Cette opération est réversible et on dit que les thermoplastiques sont solubles, fusibles et recyclables. Exemples : Polyéthylène PE ; Polypropylène PP ; polychlorure de vinyle PVC ; PS,

1.1.1.2 Les thermodurcissables

Un thermodurcissable est un polymère constitué d'un réseau macro-moléculaire tridimensionnel obtenu par la réaction de réticulation (durcissement) sous l'effet de la chaleur ou d'un durcisseur. Une fois dure, il devient infusible et insoluble. Les principales résines thermodurcissables sont :

- Les polyesters insaturés,
- Les dioxydes,
- Les phénoliques.

1.1.1.3 Les élastomères

Un élastomère est un polymère linéaire ou ramifié transformé par vulcanisation en un réseau tridimensionnel faiblement réticulé infusible et insoluble. Les élastomères se différencient des thermodurcissables par leur propriété d'élasticité caoutchouteuse, c'est-à-dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous l'action de contraintes mécaniques. Ils peuvent atteindre de très grandes allongements (jusqu'à 500%) tout en étant capables de retrouver leur géométrie initiale en restituant au milieu l'énergie qui leur a été fournie lors de la déformation. Exemples :

- Le polyisoprène : NR (caoutchouc naturel),
- Le poly isoprène de synthèse (IR),
- Le poly chloroprène (Néoprène),
- Les poly siloxanes (silicones).

1.2 Propriétés des polymères

Le développement de l'utilisation des matières plastiques dans tous les secteurs d'activités s'explique par le fait que les polymères sont, par leurs propriétés, en parfaite adéquation avec les applications envisagées ; chaque polymère ayant des propriétés qui lui sont propres. Les matières plastiques ont su se substituer à d'autres matériaux car :

- Leur densité est faible (légèreté).
- Leur coût est peu élevé.

- Leurs performances sont notables surtout si elles sont ramenées à leur unité de masse.
- Leur facilité de mise en oeuvre permet des cadences élevées et des géométries complexes

1.3 Fabrication des polymères

La grande majorité des polymères est actuellement élaborée à partir du pétrole selon le schéma suivant :

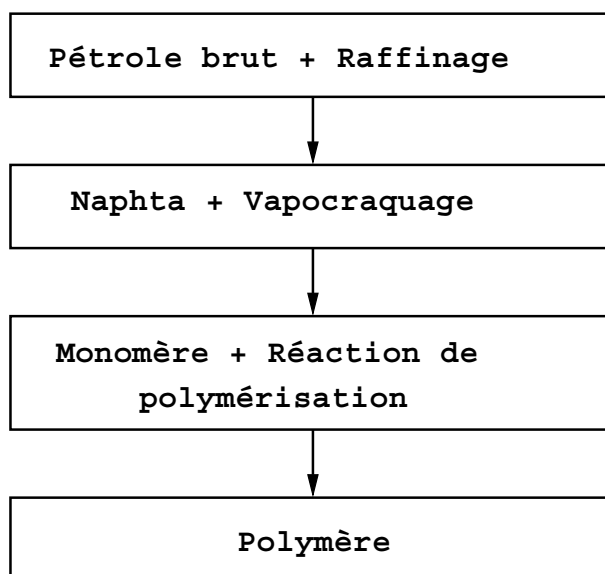


Figure 1.1 : Protocole d'élaboration des polymères

1.4 Les polymères utilisés dans les serres agricoles

Polymères et plastiques agricoles : Les films plastiques utilisés en agriculture sont composés de polymères auxquelles sont ajoutés des additifs en très faible quantité. Dans le domaine des matériaux plastiques transparents à la lumière visible, deux types sont utilisés [11].

1.4.1 Les matériaux plastiques rigides

On trouve :

1.4.1.1 EVA - acétate de vinyle

L'EVA est issu de la co-polymérisation de l'éthylène et de l'acétate de vinyle. Il est utilisé pour ses propriétés thermiques dans les films de serre et de semi-forçage thermiques. Il présente également des propriétés légèrement élastiques intéressantes mais utilisé seul ou en pourcentage élevé, il peut être la cause d'un fluage trop important non souhaitable.

1.4.1.2 PVC- chlorure de polyvinyle

Le PVC (chlorure de polyvinyle) fabriqué à partir de chlore - produit lorsque de l'eau salée est décomposée par électrolyse - et d'éthylène qui est obtenu à partir du pétrole ou du gaz par un procédé de " cracking ". La molécule obtenue : le chlorure de vinyle monomère (VCM) donnera le PVC par polymérisation. Le PVC est encore utilisé de façon très marginale en raison de ses faibles propriétés thermiques pour les films de semi-forçage appliqués sur fraise mais son utilisation est en constante régression pour des raisons environnementales (présence de VCM dans la molécule).

1.4.1.3 PA - Polyamide

Le polyamide est un polymère contenant des fonctions amides résultant d'une réaction de polycondensation entre les fonctions acide carboxylique et amine.

1.4.1.4 EVOH - éthylène alcool vinylique

L'EVOH (éthylène vinyle alcool ou éthylène alcool vinylique) est un co-polymère d'éthylène et d'alcool vinylique.

1.4.2 Les matériaux plastiques souples (films)

1.4.2.1 Le polyéthylène

Le polyéthylène (PE) sous la forme polyéthylène basse densité (PEBD) est très utilisé dans la vie quotidienne en tant que polymère de grande diffusion ou pour

des applications spécialisées et en particulier il est bien adapté pour les serres agricoles. C'est le plus important polymère de synthèse, devant le PP, le PVC et le PS. Sa production mondiale était d'une quarantaine de millions de tonnes en 2003. Sa température de transition vitreuse très basse (voisine de -110°C) et sa température de fusion pouvant atteindre 140°C font prévoir un intervalle de température d'utilisation comme plastique relativement vaste. Sa nature paraffinique explique sa grande inertie chimique. Il existe différents types de polyéthylène (dont les homopolymères LDPE et HDPE) et des copolymères (LLDPE)[12]. Le PE est obtenu par polymérisation de l'éthylène. Il faut distinguer : Le PE à basse densité (PEBD) ou haute pression ou ramifiés (densité 0,91 – 0,925). Le PE à haute densité (PEHD) ou basse pression ou linéaires (densité 0,94 – 0,965). C'est un solide incolore, inodore, d'aspect cireux. Il fond vers $120 - 140^{\circ}\text{C}$. Il devient cassant vers -25°C . Il n'est généralement pas plastifié[13].

Caractéristiques

1. Propriétés physico-chimiques :

Tableau 1.1 : Propriétés physico-chimiques du PE

Température de transition vitreuse ($^{\circ}\text{C}$)	Température de fusion ($^{\circ}\text{C}$)
-110	85 – 140

2. **Solubilité :** Le PE est insoluble à température ambiante. Il est soluble à partir de $60 - 80^{\circ}\text{C}$ dans les solvants suivants :

- Hydrocarbures halogènes ;
- Hydrocarbures aromatiques.

Mise en oeuvre Le polyéthylène est livré sous des formes commerciales diverses : granulés pour extrusion et injection, demi-produits (feuilles, plaques), mousses. Les copolymères d'éthylène sont utilisés purs ou en mélange avec des matières thermoplastiques ou des hydrocarbures paraffinique. Ils servent notamment à la préparation de colles du type "Hot-Melt".

Cycle de vie du polyéthylène Une représentation graphique des étapes du cycle de vie à maîtriser pour assurer une meilleure gestion patrimoniale du polyéthylène est montrée par la Figure 1.2.

Tableau 1.2 : Méthodes de transformation du polyéthylène

Procédé	Game de température	Informations complémentaires
Extrusion	190-200 C° pour les PE basse densité 160-180 C° pour les PE haute densité	
Extrusion Soufflage	200 C°	Elle permet l'obtention de corps creux Notamment les réservoirs à carburant pour l'automobile.
Injection	170-230 C° pour les PE basse densité 150-300 C° pour les PE haute densité	Après ébarbages et décarottage, les pièces sont utilisables sans usinage.
Moulage		Un roto moulage peut être réalisé avec du polyéthylène en poudre dans un moule creux qui tourne en tous sens pendant qu'on le chauffe
Frittage	250 C°	Pour revêtir l'intérieur ou l'extérieur de tuyaux.
Soudage	Température ambiante	Les tubes PE sont soudés par soudage miroir ou electro soudage. Ou au contact pour les films. Les ultra-sons sont également utilisés.
Enduction	280-320 C°	Cette technique est surtout utilisée avec le polyéthylène basse densité, sur des supports lisses.

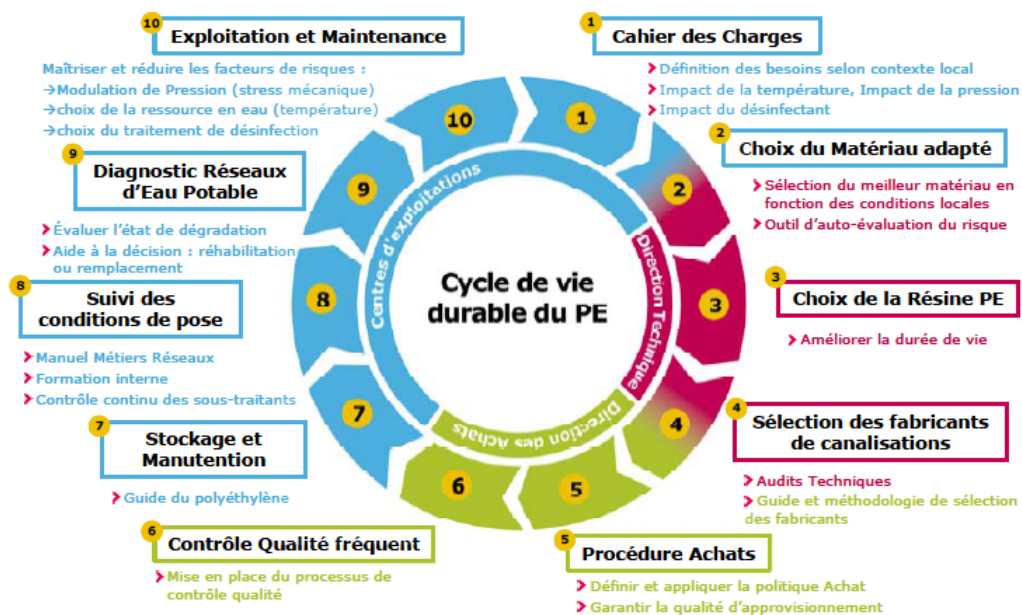


Figure 1.2 : Représentation des étapes du cycle de vie à maîtriser pour assurer une meilleure gestion patrimoniale du polyéthylène.

1.5 Les serres agricoles

1.5.1 Définition

La serre est une construction destinée à abriter des cultures de plantes ornementales, légumières ou fruitières, et parfois -dans un but expérimental ou didactique- de toutes autres plantes, dans des conditions plus favorables ou plus sûres qu'en plein air [14]. Ceci implique :

- Une enveloppe transparente aux radiations nécessaires pour la vie des plantes, d'où résulte un climat modifié par rapport au climat extérieur ;
- Des dimensions appropriées à la culture envisagée, allant des "palmarium" aux serres basses ;
- Un substrat naturel ou artificiel et une alimentation en eau ;
- Des dispositifs permettant des échanges d'air avec l'extérieur ;
- Eventuellement des dispositifs pour limiter les variations de paramètres comme la température ou l'humidité dans la serre, ou pour en contrôler plus précisément.

Voici une autre définition plus succincte : la serre est un volume plus ou moins séparé de l'extérieur par une paroi plus ou moins transparente et perméable à l'air. En France, la norme AFNOR/U 57001 indique : les serres de production peuvent se définir comme des " enceintes destinées à la culture et à la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire et dont les dimensions permettent à un homme de travailler aisément à l'intérieur ". Ceci exclut donc les châssis et petits tunnels (cheville, tunnels nantais...).

1.5.2 Choix de la serre et sa couverture

Les principaux critères de choix d'une serre et de sa couverture d'après (Urban, 1997) sont les suivants[15] :

- La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse (elle détermine le potentiel de production).
- La solidité et la durabilité (attention aux zones comportant des risques climatiques).
- La fonctionnalité et la facilité de maintenance (elle joue un rôle dans les coûts de main d'oeuvre).
- Les économies d'énergie (quand il faut chauffer).
- Le coût

1.5.3 Types de serres

Il existe plusieurs formes et tailles des serres agricoles. On trouve :

1.5.3.1 Les serres à couvertures rigides (verres et plastiques rigides)

Celles-ci sont essentiellement adaptés pour les pays à climat froid, nécessitant un appoint en chauffage. Elles ont pour avantages de bien résister au vieillissement, de produire un effet de serre élevé et une bonne transmission des radiations photo synthétiquement actives (PAR). En dehors du problème de fragilité du verre, c'est le type de serre qui offre la plus longue longévité mais de coût plus élevé. Les serres de type Venlo (voir figure 1-3) sont les plus répandues avec des armatures métalliques et une couverture en verre, elles se distinguent l'une de l'autre par la forme de leurs toitures.



Figure 1.3 : Serre de type Venlo.

1.5.3.2 Les serres à couvertures plastiques

Celles-ci sont particulièrement adaptée pour les pays au climat tempéré. Elles ont un faible coût et une durée de vie limitée à quelques saisons, pour la couverture. Les plus répandues sont les serres tunnels et les serres multi chapelles.



Figure 1.4 : *Serre tunnel à couverture plastique.*

1.5.3.3 La serre tunnel simple

Elle est le modèle le plus répandu dans le pourtour sud de la méditerranée (Figure 1.4). Son coût relativement faible et son entretien facile l'ont largement imposé chez les petits exploitants. Elles sont généralement recouvertes de polyéthylène basse densité pour une ou plusieurs saisons.



Figure 1.5 : *Serre tunnel spid.*

1.5.3.4 Les serres tunnel spid

(Fig.I.5) et multi chapelles (Fig.I.6), selon la forme de la toiture, sont surtout présentes dans les grandes exploitations et sont recouvertes de polyéthylène basse densité pour plusieurs saisons



Figure 1.6 : *Serre multi chapelles.*

1.6 Statistiques

Le tableau suivant représente le nombre de serres agricoles disponible au niveau de la wilaya de Bejaia (2021/2022) Selon la direction de l'agriculture de la wilaya de Bejaia les types de serres les plus utilisés dans la région et même en Algérie sont les serres tunnels.

Tableau 1.3 : *Nombre de serres agricoles disponible au niveau de la wilaya de Bejaia (2021/2022)*

Lieu de disposition	nombre
Tazmalt	18
Amizour	42
Bejaia	5
Adekar	6
Aokas	15
El-Kseur	10
Akbou	30
Bacaro	22

Viellissement du polyéthylène

2.1 Vieillissement des matières plastiques

Le terme de vieillissement définit l'ensemble des processus chimiques et physiques irréversibles se produisant, au cours du temps, dans un matériau. Pour des conditions extérieures comme (température, agents chimiques, radiations UV) le polymère subit ces contraintes, au cours de la mise en forme et à l'usage. Au cours du temps et selon les modes d'utilisation des matières plastiques, on observe souvent une altération des propriétés des polymères, altération qui peut entraîner la mise hors service de ces produits. Le vieillissement des matières plastiques se manifeste par une dégradation, souvent lente mais toujours irréversible de leurs propriétés. Des effets de cette dégradation découlent la notion de "durée de vie" du matériau c'est à dire le temps nécessaire pour qu'une propriété (physique, chimique, ou électrique) atteigne un seuil au-dessous duquel le matériau devient inutilisable [16].

2.2 Vieillissement des serres agricoles à base de polyéthylène

L'emploi de matériaux polymères tels que le polyéthylène à basse densité (PEBD) dans la plasticulture connaît un développement remarquable, car ce matériau présente de bonnes propriétés (légèreté, souplesse, transparence, disponibilité, pas cher, etc.) que l'on valorise, en particulier, avec les films de couverture de serres agricoles, de paillage et d'ensilage. Mais, comme le PEBD employé est exposé aux agressions climatiques, celles-ci provoquent en un laps de temps dépendant de la sévérité des facteurs climatiques, une dégradation du matériau avec perte de ses propriétés fonctionnelles. Par ailleurs, il est tout aussi important d'assurer la pérennité des proprié-

tés fonctionnelles des films de couverte et d'ensilage pour leur durée d'emploi. A l'opposé, il est tout aussi primordial de prévoir correctement la dégradation programmée à court terme des films de paillage [17].

2.3 Types et mécanismes de vieillissement du PE

Nous distinguons entre le vieillissement artificiel et le vieillissement naturel.

2.3.1 Vieillissement artificielle

2.3.1.1 Vieillissement photochimique

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 photo-dégradation 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 photo-dégradation 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 caoutchoutiques (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 photodégradation 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 [18].

2.3.1.2 Vieillissement thermique

Le vieillissement du polyéthylène, par thermo-oxydation ou photo-oxydation continue à faire l'objet de nombreux travaux. Le mécanisme général admis, est celui de l'auto oxydation de BOLLAND et GEE qui s'effectue en trois étapes à savoir,

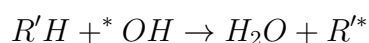
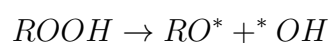
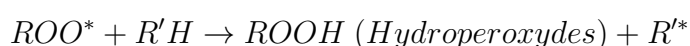
l'initiation, la propagation et enfin la terminaison [19]. Soit la macro radicale du polyéthylène (PE) : $CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2$

Initiation Formation d'un site radicalaire :



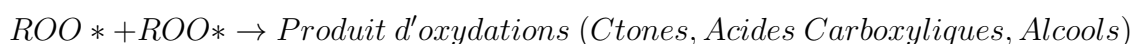
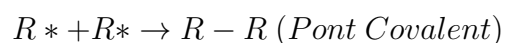
L'initiation est une réaction lente qui consiste en un arrachement d'un atome d'hydrogène de la chaîne du polymère qui conduit à la formation d'un radical libre alkyl. Elle est favorisée par la présence des impuretés. Ces derniers étant des restes de catalyseur, des traces de métal provenant de l'usure des machines ou encore des défauts de structure. La formation de ce site n'est pas encore bien expliquée, elle peut être due aux hydro peroxydes, aux groupes carbonyles ou aux impuretés présentes dans le polymère. La stabilité des radicaux influe sur le mode de dégradation des polymères.

Propagation



La propagation est un ensemble de réactions qui fait intervenir d'une part le radical alkyl, lequel en se combinant à l'oxygène, forme le radical peroxyde (réaction rapide). D'autre part, l'attaque des hydrogènes, portés par les atomes de carbone des chaînes normales et ceux situés en α des insaturations, par le radical peroxyde en générant des hydroxydes.

Terminaison



La terminaison, c'est la phase de recombinaison des radicaux libre entre eux conduisant à des espèces non réactives. L'insuffisance de la quantité d'oxygène par rapport au nombre de radicaux présents, favorise les réactions de réticulation. L'énergie requise à la scission d'une liaison O-O est de 40Kcal/mole. Les radiations

dont les longueurs d'ondes sont supérieures à 290nm, sont donc suffisantes pour amener cette rupture. Ainsi, par l'action conjuguée de la température et de l'absorption de rayonnement UV, des cétones peuvent être obtenus :



La présence de groupements $C = O$ engendre des scissions de chaînes selon les réactions :



Enfin le vieillissement peut être naturel ou artificiel ; dans le premier cas l'étude du phénomène permet d'évaluer l'action combinée de tous les agents et leurs synergies, tandis que le second mode permet de séparer chaque acteur et de modéliser les actions individuelles de ces derniers.

2.3.1.3 Vieillissement hydrothermique

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. Au contact d'un matériau polymère, l'eau peut avoir un effet physique lié essentiellement à l'hydrophilie du polymère et se manifestant par la diffusion des molécules d'eau à l'intérieur du matériau avec éventuellement une modification de sa structure macro-moléculaire de celui-ci (plastification, gonflement) et/ou un effet chimique se caractérisant par des coupures de chaînes (hydrolyse) [Pr. D. HAMICHE, Cours Génie des Matériaux, M2, Université de Bejaia]

2.3.2 Vieillissement naturel

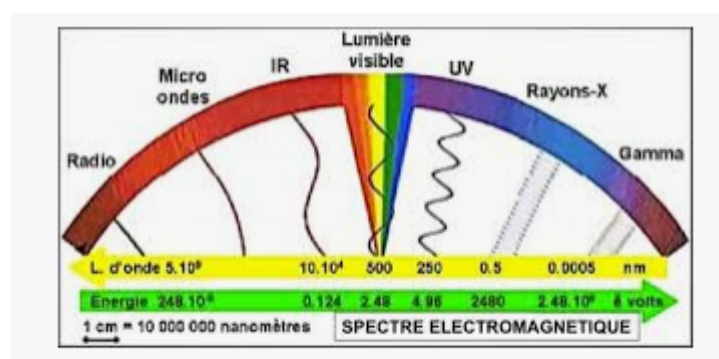
Le vieillissement naturel est le résultat de l'exposition du matériau aux différents agents climatiques (voir Tableau 2.1)

2.3.2.1 Le rayonnement solaire

La nature du rayonnement électromagnétique est liée à sa longueur d'onde. La figure 2.1 montre la distribution spectrale du rayonnement électromagnétique.

Tableau 2.1 : Principaux agents climatiques influençant le vieillissement naturel [20]

Agent	Phénomène
Rayonnement solaire	Photo dégradation
Température	Thermo oxydation et migration d'adjuvants
Oxygène et ozone	Oxydation
Humidité et pluie	Hydrolyse, Lavage et Gonflement différentiel
Neige, grêle et sable	Contraintes mécaniques, Micro fissurations et Chocs
Vent	Contraintes mécaniques et Stress dynamique



RAYONNEMENTS I. INTRODUCTION - Les rayonnements électr...
univ.ency-education.com

Figure 2.1 : Distribution spectrale du rayonnement électromagnétique.

2.3.2.2 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, les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre qui peut dépasser 30 °C , la température de la charpente métallique qui peut atteindre 70 °C [21].

2.3.2.3 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 photo-

dégradation et à la thermo-oxydation du matériau. L'ozone agit de manière identique avec un pouvoir oxydant supérieur.

2.3.2.4 L'humidité et la pluie

Le polyéthylène comme la polyoléfine est hydrophobe. Il réagit très peu avec les molécules polaires comparables à celles de l'eau. Cependant le polyéthylène reste perméable à l'eau, essentiellement sous l'influence de l'alternance du jour et de la nuit. Cette faible perméabilité favorisera les réactions de photo-oxydation et de thermo oxydation. L'eau conduit à l'extraction des additifs par lavage et migration suivant leur affinité pour l'eau.

2.3.2.5 Le vent

Le plus souvent l'orientation des serres est imposée par la direction des vents les plus violents. Il arrive cependant qu'une certaine liberté soit laissée dans le choix d'une orientation. Celle-ci, en définitive se rapprochera soit de la direction Nord-Sud, soit d'Est-ouest ; la première assure l'homogénéité des conditions micro climatiques sous serre et la seconde induit une précocité de la production en tirant le meilleur profit du rayonnement solaire des mois d'hiver. Le vent est un paramètre climatique favorisant les déperditions d'énergie au niveau des fuites, notamment lorsque les défauts d'étanchéité sont importants [22]. Le refroidissement de l'enceinte est également plus marqué au voisinage des parois les plus exposées au vent. En revanche, il réduit l'hétérogénéité du microclimat de la serre par ventilation naturelle et limite ainsi la stagnation de l'air humide à l'origine de mala-dies cryptogamiques.

2.3.2.6 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 [23].

2.3.2.7 Autres facteurs

D'autres facteurs vont intervenir dans le vieillissement naturel pour la couverture d'une serre, d'une manière plus ou moins directe, parmi eux :

- La géométrie et l'orientation de la serre ;
- Les polluants atmosphériques gazeux tels que NO_2 et SO_2 ;
- 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 combinaison de plusieurs facteurs produit un effet plus important que la somme des effets individuels. La dégradation due à la radiation est accélérée lorsque les autres éléments agissent simultanément. Les études effectuées sur la durabilité ont démontré cette synergie ou action de renforcement. Il est donc nécessaire d'apprécier les actions conjuguées au même titre que les processus individuels. Il est clair que ces derniers constituent un pas essentiel pour la compréhension du premier. Parmi les travaux effectués récemment sur le sujet avons relevé quelques-uns, pour leurs intérêts [24] :

ont montré 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. Les résultats obtenus, après un vieillissement naturel de 15 ans, par K.Moller et al [25]. 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. R. Satoto et al [26] ont étudié le comportement du polyéthylène dans deux zones climatiques différentes, concluent que la température est le facteur le plus important dans le vieillissement naturel.

2.4 Fonctionnement d'une serre avec les échanges de chaleur

Récemment, des recherches dédiées rapportent un grand nombre d'efforts de modélisation visant à comprendre les phénomènes énergétiques qui contrôlent le climat intérieur des serres agricoles. Dans le développement et la maîtrise de nouveaux moyens informatiques. Les phénomènes énergétiques des serres dans toutes les régions du monde sont à la base d'un développement optimal des cultures d'ombrage [27] : par exemple, la part du rayonnement solaire transmise au sein d'une serre affecte la photosynthèse, la transpiration, le taux de croissance et la qualité des cultures. Le but de cette section est de donner un bref aperçu de l'échange de chaleur qui se

produit dans le microclimat à l'intérieur de la serre.

2.4.1 Climat sous la serre

Le climat spontané dans une serre dépend principalement du climat extérieur, des propriétés physiques de l'air intérieur, de la forme de la serre, du volume et de l'orientation de l'abri et des propriétés physico-chimiques des matériaux de couverture utilisés. Les principaux facteurs qui modifient l'environnement interne de la serre par rapport à l'extérieur sont : la lumière, la température, l'humidité et la concentration de gaz (CO_2 , O_2 , *etc.*).

Lumière La lumière joue un rôle important dans la croissance des plantes car elle est impliquée dans de nombreux phénomènes physiologiques, notamment la photosynthèse. En fait, la lumière peut fixer le dioxyde de carbone et l'eau dans l'air des plantes, produisant des sucres et des amidons. Par conséquent, la croissance des plantes et les niveaux de production dépendent fortement de la quantité de lumière solaire que la culture reçoit tout au long de sa croissance. Cependant, l'éclairage peut être allongé ou raccourci en utilisant respectivement des lumières artificielles ou des stores [28].

Teneur en CO_2 Le dioxyde de carbone est nécessaire aux plantes vertes pour effectuer la photosynthèse. De grandes quantités de ce type chimique se trouvent dans l'atmosphère. Après dissociation, il se fixe aux feuilles par les stomates et les cellules chlorophylliennes. Les stomates des plantes cultivées dans des serres sont essentielles sous diverses concentrations de dioxyde de carbone.

Effet de serre L'énergie solaire entrant dans la serre est absorbée par les plantes, le sol et diverses structures. Le mur n'émet pas une partie des rayons infrarouges longs, et de ce fait, l'énergie solaire est interceptée par la serre, c'est "l'effet de serre". Cet effet permet de maintenir ou d'augmenter la température de l'air et du sol lorsque les températures extérieures sont trop basses. Cependant, en été, lorsque la température extérieure est élevée, cet effet devient défavorable [29].

Direction de la serre Le choix de l'orientation de la serre doit tenir compte de manière globale de l'ensoleillement naturel, du type de serre, de la direction du vent dominant et de la particularité du sol, et il est difficile d'éviter l'existence d'une hétérogénéité climatique dans la serre. La répartition lumineuse dans la serre n'est pas

uniforme).

2.4.2 Source d'énergie dans les serres

2.4.2.1 Géothermie

La géothermie regroupe toutes les technologies capables de capter la chaleur de la terre. Il offre un immense pool énergétique et une palette de solutions pour répondre durablement à divers besoins : il est utilisé dans plusieurs pays dans le secteur agricole pour chauffer les serres agricoles afin d'améliorer les cultures sous serres.

2.4.2.2 Energie solaire

La serre elle-même est à la fois un capteur solaire biologique (photosynthétique) et thermique. Les capteurs thermiques sont même souvent trop efficaces, car la serre a besoin d'être aérée fréquemment, pour que la chaleur soit évacuée du corps par ventilation. Compte tenu non seulement du rapport d'ensoleillement jour/nuit, mais aussi du rapport hiver/été, un système de stockage de cette chaleur doit être prévu, ce qui constitue un obstacle majeur [30].

2.5 Différents échanges thermiques dans la serre

Il existe trois principaux modes d'échange de chaleur : le rayonnement, la convection (avec ou sans transition de phase) et la conduction. Ces schémas doivent être bien identifiés et compris au niveau du système de serre et de chacun de ses sous-systèmes (c'est-à-dire le sol, les plantes, l'air intérieur, et enfin les murs séparant l'intérieur et l'extérieur) :

1. Échanges radiatifs de courte longueur d'onde, directs et diffus, qui sont transmis, réfléchis et/ou absorbés par les différents milieux considérés (Figure 2.2) ; échanges radiatifs de grande longueur d'onde entre ces milieux, le ciel et le monde extérieur ;
2. Échange convectif : échange de chaleur sensible et de chaleur latente entre différents environnements et le monde extérieur par aération (Figure 2.3) ;
3. L'échange de chaleur latente d'évaporation ou de condensation.
4. L'échange par conduction : concerne principalement le transfert de chaleur entre la surface et ses couches profondes et la perte de chaleur à travers les parois (Figure 2.3).

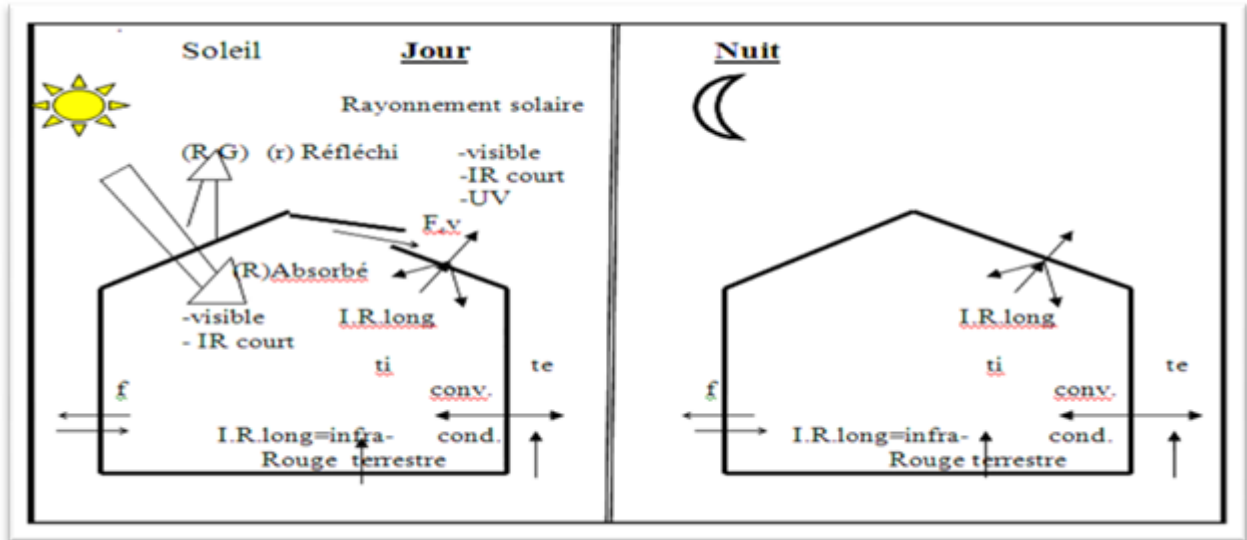


Figure 2.2 : Échanges radiatifs entre les composantes de la serre et son environnement, en période diurne et nocturne (Waquant, 2000).

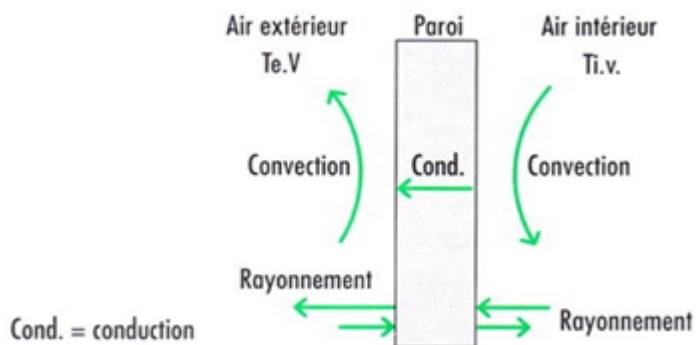


Figure 2.3 : Échanges de chaleur entre la couverture de serre avec son environnement.

3.1 Les matériaux

Le matériau utilisé dans cette étude est le PEBD sous forme de films à trois couches. L'un avec un agent UV et l'autre sans UV, développés et fournis par Meri Plast (Bejaia, Algérie). La couleur primaire du film est transparente et la structure réelle du film n'est pas connue (gardée confidentielle par le fournisseur). La couverture de serre habituellement utilisée est constituée d'un film tri-couches d'épaisseur de $150 \mu m$ et d'une durée vie de 12 mois. Les propriétés mécaniques mentionnées dans la fiche technique du fournisseur sont résumées dans le Tableau 3.1.

Tableau 3.1 : *Propriétés mécaniques du film PEBD tri-couches.*

Contrainte à la rupture longitudinale	15,84 MPa	10%
Contrainte à la rupture transversale	12,45 MPa	10%
Allongement à la rupture longitudinale	413,5%	50%
Allongement à la rupture transversale	722.1%	50%

3.2 Protocoles d'exposition

Les conditions climatiques subies par les échantillons du PEBD sont typiques du Nord d'Algérie. Deux supports ont été spécialement conçus pour l'exposition de l'échantillon du film pour l'étude de l'impact des conditions climatiques naturelles sur les performances de la couverture en PEBD dans la région de Bejaia (Université Targua Ouzemour). Des prélèvements sont effectués après deux mois et demi d'exposition (75 jours). Les essais de traction et les essais de MFI et l'infra-rouge sont réalisés respectivement à l'entreprise Meri Plast et l'université de Sétif 1 et l'université de Bejaia (Targua Ouzemour).

3.2.1 Protocoles de vieillissement artificiel

Dix échantillons sous forme d'éprouvettes rectangulaire pour chaque type de film sont mis dans une étuve ventilée et chauffée à 120°C pendant 14 jours.



Figure 3.1 : *Echantillons vierges du PEBD sans anti-UV dans l'étuve*



Figure 3.2 : *Echantillons vierges du PEBD avec anti-UV dans l'étuve*

3.2.2 Protocoles de vieillissement naturel

Les conditions climatiques subies par les échantillons du PEBD sont typiques du nord d'Algérie. Deux supports ont été spécialement confectionnés et posés sur la terrasse du bloc 11 à l'université Targua de Bejaia pour étudier l'impact du vieillissement naturel sur les performances de la couverture en PEBD. Son orientation est à un angle de 45° EST, afin de le laisser exposé à la lumière, la pluie, le vent de sable. Des prélèvements sont effectués après deux mois et demi d'exposition (75 jours).



Figure 3.3 : Les deux supports réalisés pour l'étude du vieillissement naturel

3.3 Les méthodes

3.3.1 Essais de tractions

Les propriétés mécaniques en traction (allongement à la rupture et le module de Young) sont déterminées par le biais d'une machine de traction de marque Universal Zwick-Roell avec testControl II, cellule de charge $500N$, extensomètre classe I et un grabite de coupe de 20 mm , commandée par un ordinateur qui est équipé d'un logiciel Testexpert II. La mesure est effectuée sur le film qui est préalablement découpé en éprouvettes normalisées comme le montre la figure 3.4. Les résultats obtenus correspondent à une moyenne réalisée à partir de cinq essais pour un même échantillon sur cinq éprouvettes. La vitesse d'étirement utilisée est de $100\text{mm}/\text{min}$.

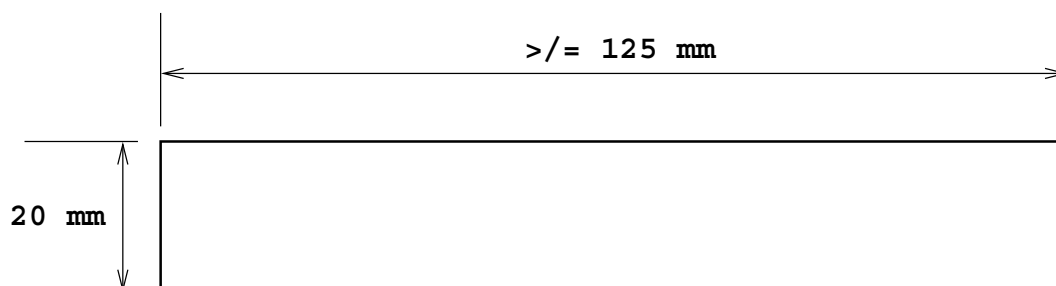


Figure 3.4 : Dimensions et forme de l'éprouvette normalisée.



Figure 3.5 : Photographie de la machine de traction de marque Universal ZwickRoell avec testControl II

3.3.2 Spectroscopie Infrarouge

La spectroscopie infra-rouge à transformée de Fourier (IRTF) est une méthode d'analyse qui permet de donner des informations sur la structure des macromolécules, l'identification des groupements contenus dans les molécules ainsi que la transformation qui se manifeste au niveau de la structure des chaînes. Le principe d'analyse est comme suit : Lorsqu'une radiation infra-rouge traverse le film du PEBD tri-couches, le spectre de la radiation émergente révèle des bandes d'absorptions dues à des vibrations et rotation particulière des groupements atomiques qui caractérisent la structure de l'échantillon. Les spectres infra-rouges ont été enregistrés avec un spectromètre de modèle SHAMADZU FTIR-8400S (voir la figure 3.6), piloté par un ordinateur muni d'un logiciel de traitement avec une résolution de 4cm^{-1} et dans la région ($400 - 4000\text{cm}^{-1}$).

3.3.3 Mesure de l'indice de fluidité

L'essai a été réalisé au moyen d'un appareil type Melt-Indexer modèle 5 qui consiste en un cylindre C d'axe vertical placé dans un four et se terminant à son extrémité par une filière standard de longueur 8 mm et de diamètre 2,09 mm. Les essais ont été effectués selon la norme ASTM D-1238, sous une charge de 2.14 kg et à une température de 190°C. L'indice de fluidité (IF) est évalué par la relation :

$$IF = \frac{600 \times m}{t} \quad (3.1)$$

Où m est la masse moyenne et t est l'intervalle de temps entre deux coupes d'un extrudât.



Figure 3.6 : Photographie de l'appareil de mesure de l'indice de fluidité.

4.1 Effet vieillissement naturel

4.1.1 Effet du vieillissement naturel sur la structure du PEBD tri-couche

Tableau 4.1 : Bandes d'absorption du PEBD.

Type de liaison	Longueur d'onde
CH_3	2954
CH_2	2920
CH_2	2860
CH_3	1377
CH_2	729, 720

La figure 4.1 et la figure 4.2 représentent les spectres FTIR du PEBD vierges avec et sans anti-UV et du PEBD exposés pendant 75 jours (du 15/03/2022 au 30/05/2022) à l'université de Béjaia. Les films de polyéthylène basse densité sont exposés en plein air à la lumière solaire, qui contient deux fractions sans anti UV et avec anti-UV.

A partir de ces spectres FTIR, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Pour le PEBD sans anti-UV (Figure 4.1)

Absence d'une bande d'absorption des carbonyles dans l'échantillon vierge et vieillis, signature de la résistance de ces échantillons à l'oxydation. Aussi, à 1090 cm^{-1} , la bande des doubles liaisons reste inchangée. Nous constatons une diminution de l'intensité de la bande de vibration d'élongation symétrique et asymétrique de la liaison $C - H$ du groupe CH_2 dans l'intervalle ($2800 - 3100\text{ cm}^{-1}$), qui signifie la diminution des liaisons $C - H$ (dégradation photochimique).

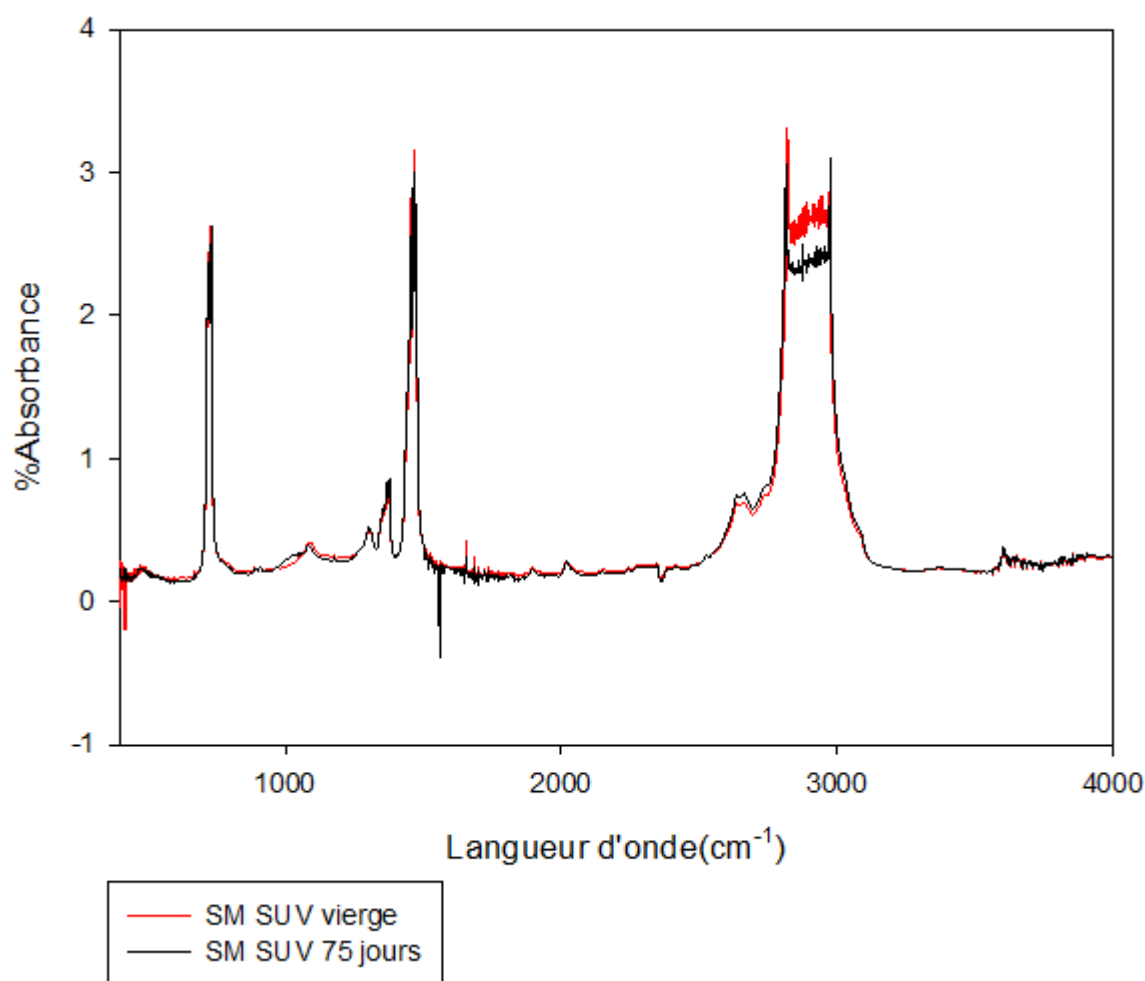


Figure 4.1 : Spectres FTIR du PEBD sans anti-UV vierge et vieilli.

Pour le PEBD avec anti-UV (Figure 4.2) Diminution de l'intensité du pic de vibration des balancements des groupements CH_2 à (750 cm^{-1}). Nous pouvons remarquer la diminution de la bande d'absorption à 1020 cm^{-1} (caractéristique des doubles liaisons) pour l'échantillon vieilli. En revanche, à 1260 cm^{-1} une bande d'absorption caractéristique du groupement méthyle diminue avec le vieillissement. Nous constatons aussi une diminution de l'intensité du pic de vibration ainsi que la déformation symétrique du groupe CH_2 à (1370 cm^{-1}), qui signifie la diminution de l'accumulation CH_2 (dégradation photochimique).

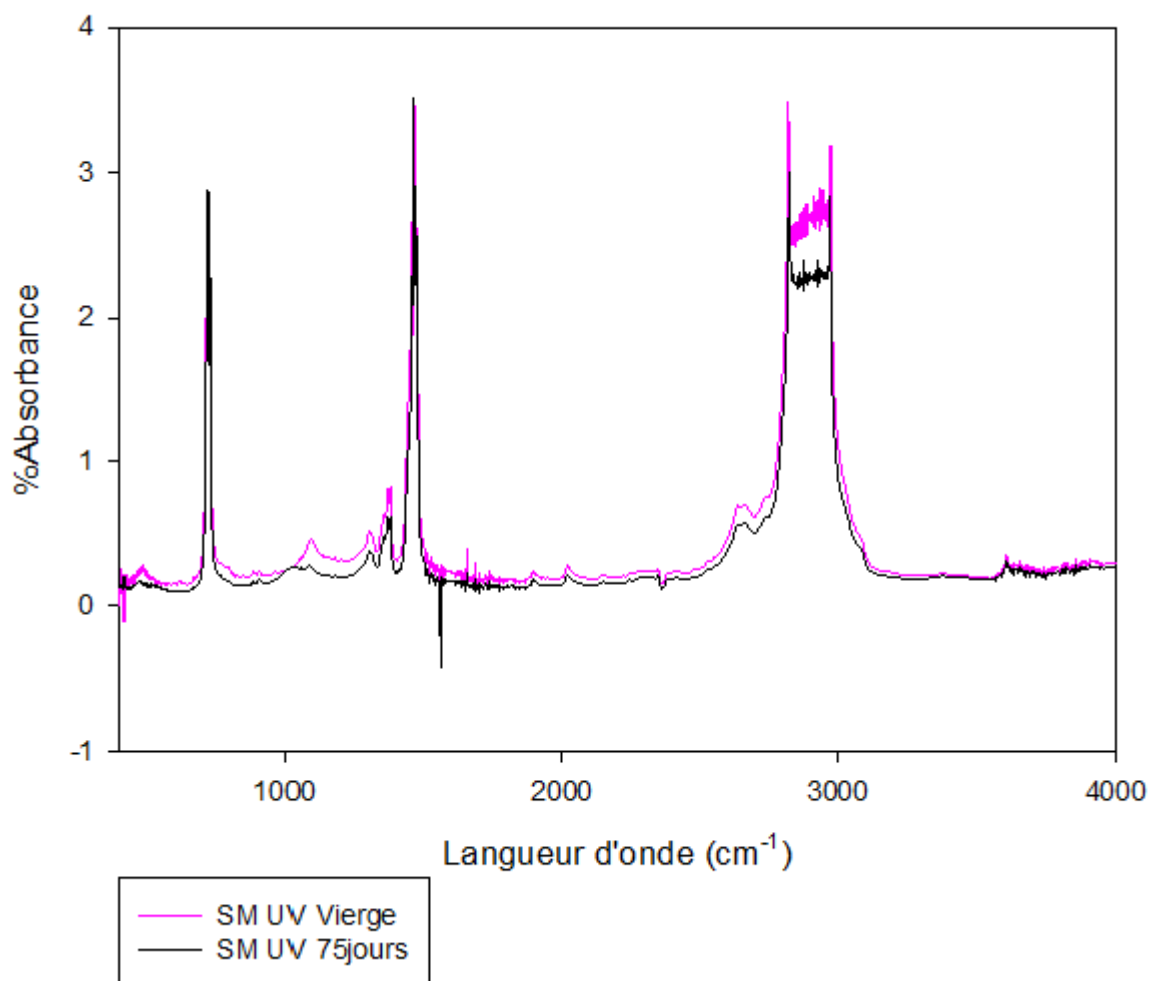


Figure 4.2 : Spectres FTIR du PEBD avec anti UV vierge et vieilli.

4.2 Effet du vieillissement accéléré

4.2.1 Effet du vieillissement accéléré sur la structure du PEBD tri-couche

La figure 4.3 et la figure 4.4 représentent les spectres FTIR du PEBD vierge avec et sans anti-UV et du PEBD vieilli en étuve pendant 14 jours à 120°C.

A partir de ces spectres FTIR, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

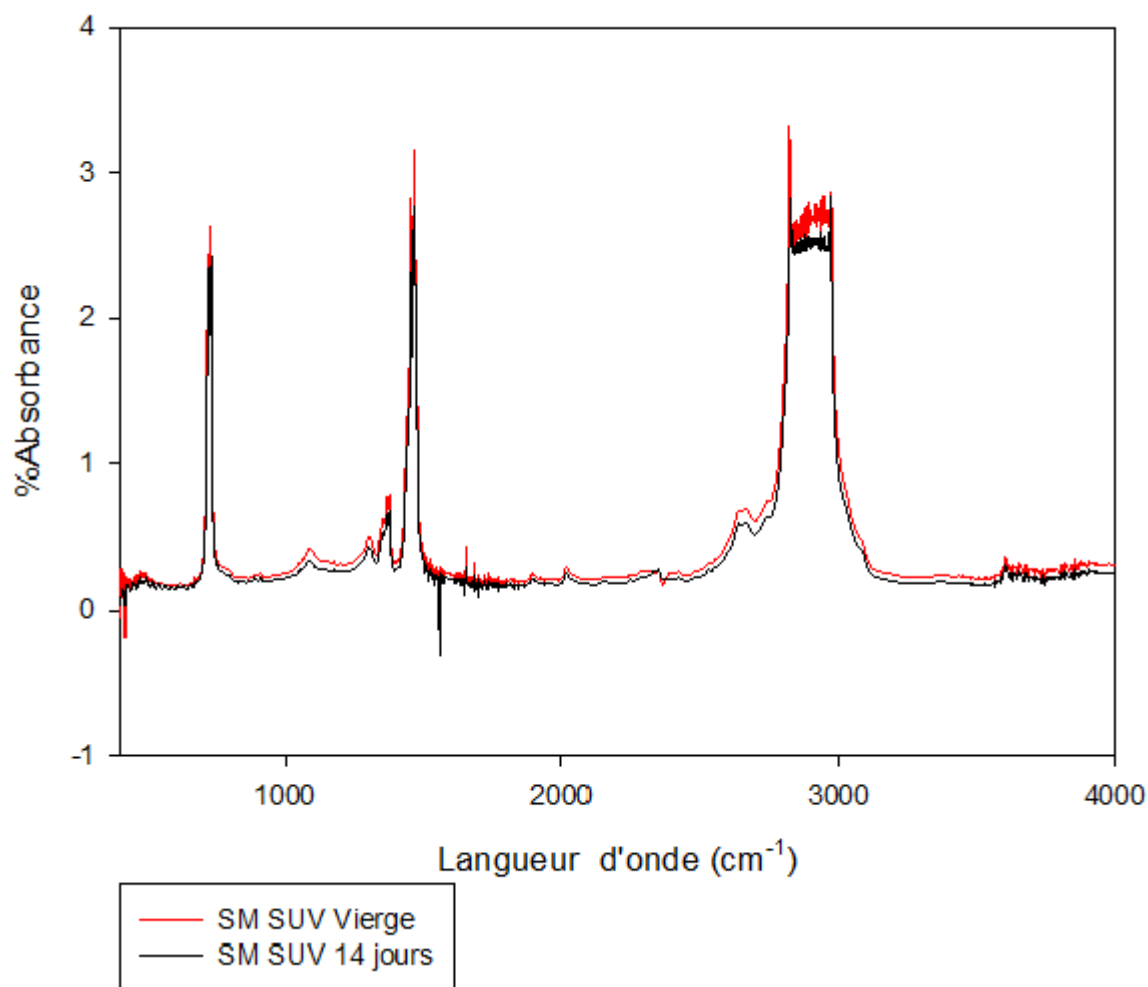


Figure 4.3 : Spectres FTIR du PEBD sans anti-UV vierge et vieilli.

Pour le PEBD sans anti-UV Nous pouvons remarquer, à 1090 cm^{-1} , une légère diminution de la bande d'absorption des doubles liaisons pour l'échantillon vieilli (voir figure 4.3). Dans l'intervalle ($2760 - 3100\text{ cm}^{-1}$), nous constatons une diminution de l'intensité de la bande de vibration d'élongation symétrique et asymétrique de la liaison $C - H$ du groupe CH_2 qui signifie la diminution des liaisons $C - H$ (dégradation photochimique).

Pour le PEBD avec anti-UV Une diminution de l'intensité de pic de vibration de balancements de groupements CH_2 à 750 cm^{-1} . A 1090 cm^{-1} , la diminution de la bande des doubles liaisons pour l'échantillon vieilli. En revanche, à 1260 cm^{-1} une

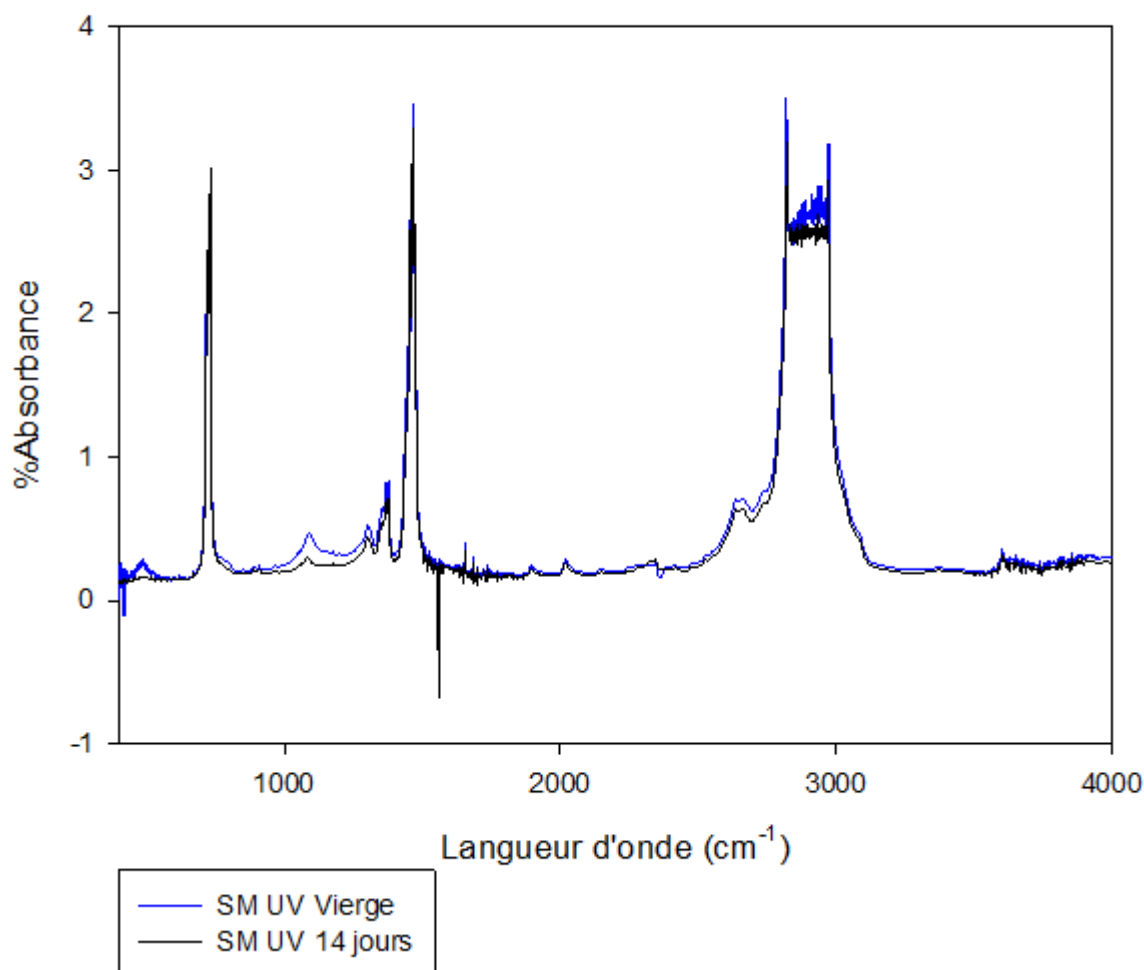


Figure 4.4 : Spectres FTIR du PEBD avec anti-UV vierge et vieilli.

bande d'absorption caractéristique du groupement méthyle diminue avec le vieillissement. Absence d'une large bande d'absorption des carbonyles dans l'échantillon vieilli, signature de la résistance de ces échantillons à l'oxydation. Une diminution de l'intensité de la bande de vibration d'élongation symétrique et asymétrique de liaison $C - H$ de groupe CH_2 à l'intervalle $[2800 - 3100 \text{ cm}^{-1}]$ (voir figure 4.4), qui signifie la diminution des liaisons $C - H$ (dégradation photochimique).

Nous observons une bande d'intensité faible à 1180 cm^{-1} qui est attribuée à la vibration (CH_2). Absence d'une large bande d'absorption des carbonyles dans l'échantillon vierge et vieilli, signature de la résistance de ces échantillons à l'oxydation

4.3 Propriétés mécaniques (Test de traction)

4.3.1 Effet du vieillissement naturel est accéléré sur les propriétés à la traction

Les figures 4.5 et 4.6 représentent respectivement les histogrammes de l'allongement à la rupture et le module de Young, des échantillons vierges et vieillis à différents modes de vieillissement.

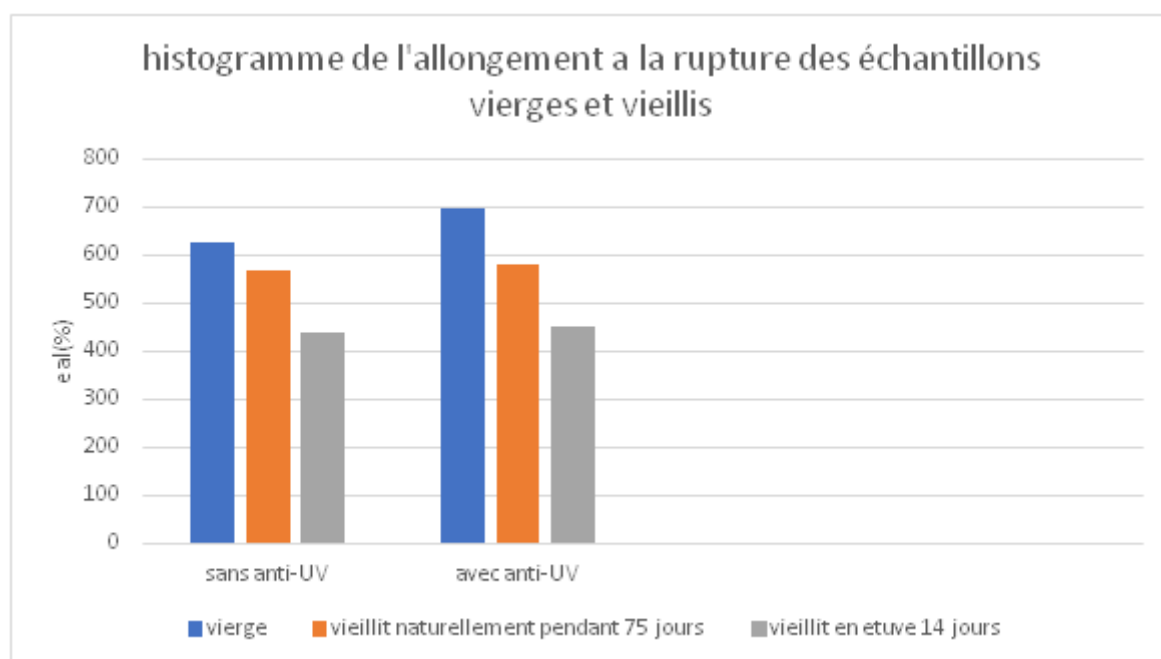


Figure 4.5 : Histogramme de l'allongement à la rupture des échantillons vierges et vieillis.

Nous pouvons constater que : Pour les deux modes de vieillissement l'allongement à la rupture (figure 4.5) subit une diminution. Cette dernière est beaucoup plus importante dans le cas du vieillissement accéléré. Par ailleurs, l'anti-UV n'a pas trop d'influence sur l'allongement des échantillons vieillis, autrement dit, les échantillons avec anti-UV subissent le même degré d'abaissement de l'allongement à la rupture. On peut retenir des résultats obtenus dans cette section que le PEBD tri-couches avec ou sans UV perd sa souplesse pendant les deux modes de vieillissement. Le maxi-

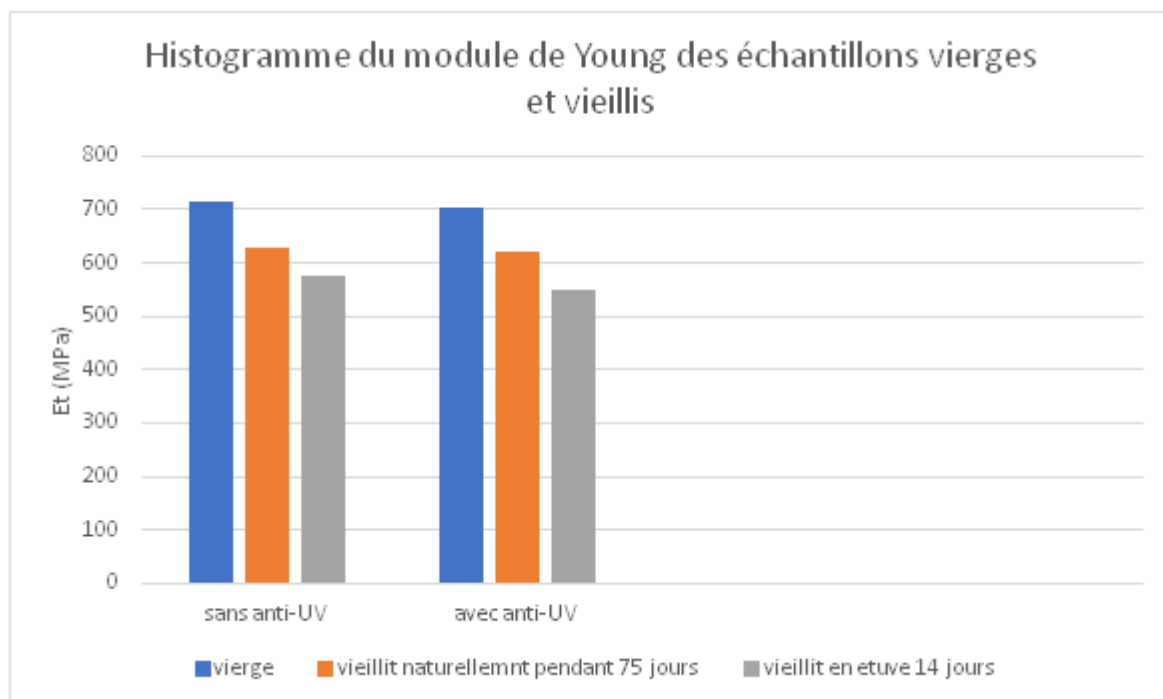


Figure 4.6 : *Histogramme du module de Young des échantillons vierges et vieillis.*

Le module de perte enregistré est de 30% pour l'échantillon sans anti-UV vieilli dans l'étuve pendant 14 jours à 120°C. Pour le module de Young qui exprime la rigidité du PEBD tri-couches, la figure 4.6 montre que tous les échantillons vieillis ont enregistré une diminution du module de Young par rapport à l'échantillon de référence non vieilli. Nous pouvons voir clairement que l'abaissement du module "E" est plus important pour le PEBD vieilli en étuve. La même tendance a été trouvée pour l'allongement à la rupture. Nous pouvons noter que le "E" du PEBD tri-couches avec et sans UV (références) ont le même module de Young.

4.4 Indice de fluidité (MFI)

La figure 4.7 montre les histogrammes de PEBD sans anti-UV vierge, vieillis naturellement pendant 75 jours et vieillis pendant 14 jours en étuve à 120°C (vieillessement accéléré).

L'indice de fluidité (MFI) subit une diminution drastique pendant le vieillissement naturel, en revanche il augmente par rapport au PEBD vierge pour l'échantillon vieilli dans l'étuve. Ce phénomène est lié aux phénomènes de coupures de chaînes

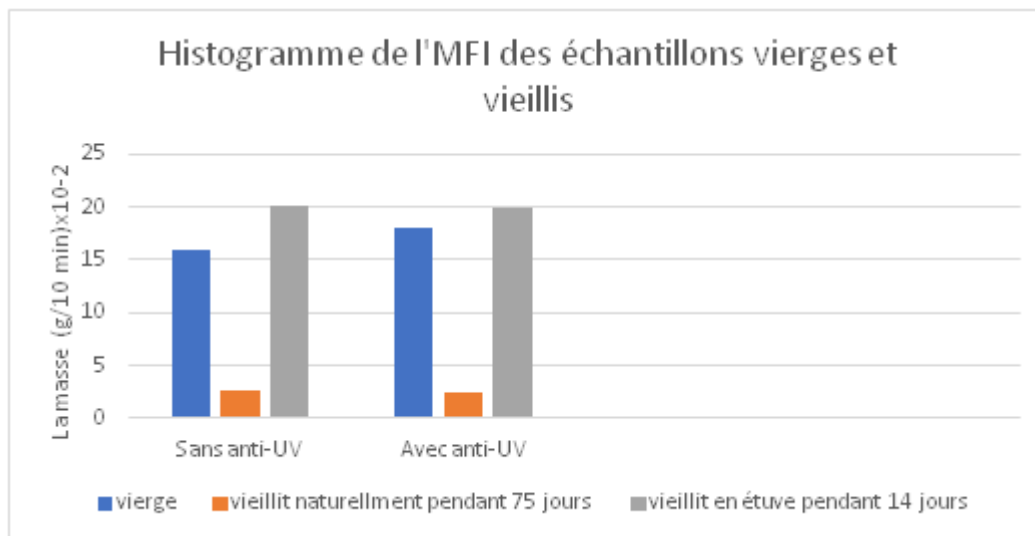


Figure 4.7 : Histogramme du MFI des échantillons vierges et vieillis.

et de la réticulation qui se produisent lors de la dégradation du PEBD. En effet, les coupures de chaînes engendrent une diminution de l'indice de fluidité ; par contre la réticulation le fait augmenter.

Conclusion

Le présent travail de mémoire de Master porte sur l'étude des effets du vieillissement naturel et accéléré sur les propriétés mécaniques et rhéologiques d'un film polyéthylène basse densité de type tri-couches utilisé comme couverture des serres agricoles exposé à l'université de Bejaia (Targua Ouzmour) à des conditions climatiques naturelles pendant 75 jours et des conditions artificielles dans une étuve à température de 120°C pendant 14 jours. Pendant la période de cette étude nous nous sommes familiarisés avec le monde industriel à travers un stage de 3 jours pour la confection de nos films agricoles d'une part et le monde administratif pour recueillir les statistiques d'une autre part. Par ailleurs, une sortie pédagogique à l'université de Sétif au laboratoire de la transformation des polymères et notre séjour au laboratoire LMPA nous a permis de réaliser des tests rhéologiques et mécaniques et de nous confronter avec les chercheurs de plusieurs laboratoires. Les résultats obtenus dans cette présente étude sont abondants et riches et nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La structure du PEBD utilisé dans cette étude n'a pas subi de changement (absence d'oxydation).
- Pour les deux modes de vieillissement les films utilisés perdent leur souplesse et leur rigidité.
- Le test rhéologique révèle une diminution drastique du MFI pendant le vieillissement naturel, en revanche il augmente par rapport au PEBD vierge pour l'échantillon vieilli dans l'étuve.

Résumé

Le présent travail de mémoire de Master porte sur l'étude des effets du vieillissement naturel et accéléré sur les propriétés mécaniques et rhéologiques d'un film polyéthylène basse densité de type tri-couches utilisé comme couverture des serres agricoles exposé à l'université de Bejaia (Targua Ouzmour) à des conditions climatiques naturelles pendant 75 jours et des conditions artificielles dans une étuve à température de 120°C pendant 14 jours.

Les résultats obtenus dans cette présente étude sont abondants et riches et nous permettent de tirer les conclusions suivantes : La structure du PEBD utilisé dans cette étude n'a pas subi de changement (absence d'oxydation). Pour les deux modes de vieillissement les films utilisés perdent leur souplesse et leur rigidité. Le test rhéologique révèle une diminution drastique du MFI pendant le vieillissement naturel, en revanche il augmente par rapport au PEBD vierge pour l'échantillon vieilli dans l'étuve.

Mots-clés : Film PEBD, tri-couches, Vieillissement naturel, Vieillissement artificiel, avec anti -UV, sans anti- UV.

Abstract

The present work of Master's thesis concerns the study of the effects of natural and accelerated aging on the mechanical and rheological properties of a low density polyethylene film of the tri-layer type used as a cover for agricultural greenhouses exposed at the University of Bejaia (Targua Ouzmour) to natural climatic conditions for 75 days and artificial conditions in an oven at a temperature of 120°C for 14 days. The results obtained in this study are abundant and rich and allow us to draw the following conclusions : The structure of the LDPE used in this study did not undergo any change (no oxidation). For both aging modes, the films used lose their flexibility and stiffness. The rheological test reveals a drastic decrease of the MFI during the natural aging, on the other hand it increases compared to the virgin LDPE for the sample aged in the oven.

Keywords: LDPE film, tri-layer, natural aging, artificial aging, with UV protection, without UV protection.