

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun -Tiaret
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



Thèse de Doctorat du Troisième Cycle
Domaine : Ecologie et Environnement
Spécialité: Ecologie et Préservation des Ecosystèmes Terrestres

Présentée Par :

Belhachemi Asma

Etude du comportement écophysiological de l'*Eucalyptus camaldulensis* et de *Solanum lycopersicum* sous serres de films PE-LD: Productivité et rendement en huiles essentielles.

Présentée Le: 20 /05/2021, Devant le Jury composé de:

Mr. DELLAL Abdelkader..... Professeur,U. Ibn Khaldoun Tiaret.....Président
Mr. MAATOUG M'hamed..... Professeur,U. Ibn Khaldoun Tiaret Directeur de thèse
Mr. DEHBI Abdelkader..... Professeur, U. Ibn Khaldoun Tiare... Co- Directeur de thèse
Mr. MIARA Mohamed Djamel.....MCA,.... U. Ibn Khaldoun Tiaret..... Examineur
Mr. CHAIBI Rachid..... Professeur,..... Université de Laghouat..... Examineur

Laboratoire d'accueil :

*Laboratoire de Chimie, -DBA, R+D Tecnico Center, Université de Lleida (Espagne) sous la supervision du Prof. **Ramon CANELA-GARAYOA.***

Année universitaire: 2020/2021

Remerciements

Merci à **ALLAH** Tout-Puissant de m'avoir donné de la force, de la patience et la capacité de réaliser cette thèse.

J'exprime mon appréciation et ma gratitude à mon conseiller, le professeur **Maatoug M'hamed** du Département des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret (Algérie). Ses efforts précieux, son enthousiasme, son dynamisme, son dévouement et son attitude prodigieuse pour aider ses étudiants, m'ont permis de réaliser ce projet.

Je dois une profonde gratitude à mon mentor, le professeur **Ramon Canela-Garayoa**, chef du Département de Chimie de l'Université de Lleida (Espagne), pour sa supervision constante de la majeure partie de ma thèse et son hospitalité indéniable dans son laboratoire de recherche. Ses conseils, son approche scientifique, son soutien, sa gentillesse, sa confiance en mes capacités, son vif intérêt et sa coopération pendant ma période de formation m'ont permis de terminer ma thèse et m'ont inspiré à être une meilleure version de moi-même.

Je remercie mon co-directeur de thèse, le Prof. **Dehbi Abdelkader** du Département de Physique de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret (Algérie), pour son aide précieuse et sa contribution à ce projet.

Je remercie le Pr **Dellal Abdelkader** de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret, de m'avoir fait l'honneur de sa présence en tant que président du jury, ainsi que M. **Miara Mohamed Djamel** (Professeur associé) et Pr **Chaibi Rachid**, d'avoir accepté d'examiner mon modeste travail.

Je suis également très reconnaissant au **Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique** pour la subvention P.N.E, qui m'a permis de réaliser mon étude de recherche à l'Université de Lleida (Espagne) pour une période de 12 mois.

Mes remerciements vont également à **Paula Obregón** et **Joan Carles Mercader** du bureau des relations internationales de l'Université de Lleida (Espagne) pour m'avoir permis de participer pendant une période de 06 mois au programme Erasmus+ financé par l'Union européenne, et pour leur temps et efforts afin de rendre cette collaboration possible.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers ma **famille** pour leur amour, leurs prières, leur bienveillance et leur source constante d'inspiration, qui m'ont permis de mener à bien ce travail de recherche.

Je suis très reconnaissant à mon oncle et mentor, le professeur **Messlem Youcef**, pour ses encouragements indéniables, son soutien et ses conseils opportuns dans la réalisation de cette entreprise.

Je suis extrêmement reconnaissant à mon ami **M. Azibi Farid**, pour son aide précieuse et ses encouragements tout au long de ma première année de recherche.

Je remercie également le **Dr Aoued Boualem** de m'avoir fourni les graines d'*Eucalyptus camaldulensis*.

Je remercie humblement tous ceux qui ont joué un rôle dans mes réalisations académiques.

Dédicaces

Je dédie cette thèse

A ma mère qui a toujours été une source d'inspiration et m'a appris à être forte malgré les nombreux obstacles de la vie et à ne jamais abandonner mes rêves ;

A mon père qui n'a pas cessé d'apporter son soutien moral et ses encouragements ;

À mes grands-parents bien-aimés pour leurs prières et leur soutien au cours de ma carrière éducative;

A mes frères et sœurs pour leur amour, leur patience et leur soutien moral ;

A tous ceux qui ont cru en moi et m'ont aidé tout au long de ce processus.

Asma

Résumé

Trois films de polyéthylène à basse densité, un film ordinaire commercialisé, un film tri-couche et un film monocouche ont été utilisés comme matériaux de couverture de serre. Une approche a été menée pour étudier l'impact du film de couverture de serre sur le microclimat interne et l'intensité lumineuse, ainsi que sur la croissance et la production d'*Eucalyptus camaldulensis* et de deux variétés de tomates. L'extraction des huiles essentielles des feuilles d'eucalyptus âgés de 14 semaines a été réalisée par hydrodistillation. Des analyses qualitatives et quantitatives des huiles essentielles extraites ont été exécutées en utilisant les équipements GC-MS et GC-FID. De plus, le vieillissement et la dégradation des matériaux de couverture des serres ont été étudiés à l'aide de la spectroscopie FTIR et UV-vis. Les analyses statistiques ont montré une variation de croissance des espèces cultivées, en fonction de leur serre de culture. Les rendements de production de Marmande et ACE 55 VF étaient respectivement d'environ 3,1 kg/m² et 2,9 kg/m² et 2,3 kg/m² et 2,0 kg/m² pour les serres monocouche et tri-couche. L'huile de feuille d'eucalyptus était riche en terpènes avec un total de 66 composés identifiés. Différents teneurs en composés ont été perçues dans les huiles essentielles extraites, par rapport à la serre de culture. Le composé le plus significatif du point de vue quantitatif trouvé dans les feuilles d'*E. camaldulensis* était le 1,8-cinéole. Des changements visibles dans la structure du matériau ont été enregistrés au cours du processus de vieillissement. Les matériaux ont subi une photodégradation ainsi qu'une dégradation thermique, entraînant des changements chimiques et mécaniques. Le film monocouche a subi une dégradation mécanique plus importante que les films multicouches, conduisant à sa destruction totale en une courte durée de vie. Les autres films étaient plus résistants et ont présenté à peu près le même comportement face aux conditions climatiques difficiles. Le film de couverture de serre doit être choisi avec soin car il joue une fonction majeure en référence à son effet sur la croissance et la production des espèces cultivées.

Mots-clés: serre; Films PE-BD; *Eucalyptus camaldulensis*; tomate; croissance; rendement; dégradation; microclimat; intensité lumineuse; huiles essentielles.

Abstract

Three low-density polyethylene films, a commercial ordinary film, a three-layer film, and a monolayer film were used as greenhouse covering materials. An approach was carried out to study the impact of the greenhouse cover film on the internal microclimate and light intensity, and furthermore, on the growth and production of *Eucalyptus camaldulensis* and two tomato varieties. The extraction of the essential oils from the leaves of 14 weeks aged eucalyptus trees was performed by hydrodistillation. Qualitative and quantitative analyses of the extracted essential oils were executed using GC-MS and GC-FID equipments. Also, the aging and degradation of the greenhouse roofing materials were studied using FTIR and UV-vis spectroscopy. The statistical analyses showed a growth variation of the cultivated species, according to their greenhouse of culture. Production yields of Marmande and ACE 55 VF were about 3.1 kg/m² and 2.9 kg/m² and 2.3 kg/m² and 2.0 kg/m² for the monolayer and the three-layer greenhouses, respectively. Eucalyptus leaf-oil was rich in terpenes with a total of 66 identified compounds. Different compound contents were perceived in the extracted essential oils, with respect to the greenhouse of culture. The most quantitatively significant compound found in the leaves of *E.camaldulensis* was 1,8-cineol. Visible changes in the material structure were recorded during the ageing process. The materials underwent photo and thermo degradation, leading to chemical and mechanical changes. The monolayer film has suffered more mechanical degradation than the multilayer films, leading to its total crumbling in a short lifetime. The other films were more resistant and showed approximately the same behaviour towards the rough climatic conditions. The greenhouse cover-film should be chosen thoughtfully because it plays a major function with reference to its effect on the growth and production on the cultivated species.

Key-words: *greenhouse; LDPE films; Eucalyptus camaldulensis; tomato; growth; yield; degradation; microclimate; light intensity; essential oils.*

ملخص

لقد تم استخدام ثلاث أغلفة بولي إيثيلين منخفضة السماكة وهي: غلاف تجاري عادي، غلاف ذو ثلاث طبقات، و غلاف ذو طبقة واحدة كمواد لتغطية الدفيئات الزراعية. لقد تم استخدام منهج محدد لدراسة تأثير الغطاء البلاستيكي على المناخ الداخلي وشدة الضوء، بالإضافة إلى تأثيره على نمو وإنتاجية نبات الأوكالبتوس *sisneludlamac* و صنف الطماطم. تم استخراج الزيوت من أوراق شجرة الأوكالبتوس التي يبلغ عمرها 14 أسبوع عن طريق التقطير المائي ثم تم إجراء تحاليل نوعية وكمية للزيوت المستخرجة باستعمال التجهيزات GC-MS و GC-FID. كما تم دراسة مستوى انحلال و عمر غلاف الدفيئة باستخدام التحليل الطيفي ب FTIR و vis-UV. أظهرت إحصائيات التحليل تباينا في نمو الأنواع التي زرناها وفقا للبيوت التي زرعت فيها. كان إنتاج Marmande و ACE VF 55 حوالي 3.1 كغ/م²، 2.9 كغ/م²، 2.3 كغ/م²، 2.0 كغ/م² للدفيئات ذات الأغلفة أحادية الطبقة و ذات الثلاث طبقات على التوالي، و كان زيت أوراق الأوكالبتوس غني بالتربين بإجمالي 66 مكون محدد. في أوكالبتوس *sisneludlamac* تم ملاحظة أنواع مختلفة من الزيوت المستخرجة حسب الدفيئة التي زرع فيها و كان المكون الأكثر أهمية من ناحية الكمية الموجودة هو cineole-1,8. تم تسجيل تغيرات مرئية في هيكل المواد البلاستيكية أثناء عملية تقدمهم العمري. لقد خضعت العينات للتدهور الضوئي والحراري مما أدى إلى تغيرات كيميائية وميكانيكية كما عانى الغلاف أحادي الطبقة إلى تدهور ميكانيكي أكثر من أغلفة ذات عدة طبقات مما أدى إلى انهياره كليا في عمر قصير. كانت الأغلفة الأخرى أكثر مقاومة وأظهرت نفس السلوك تقريبا تجاه الظروف المناخية القاسية. يجب اختيار غلاف الدفيئة الزراعية بعناية لأنه يلعب دور أساسي في نمو وإنتاج المواد المزروعة.

الكلمات الرئيسية: دفيئة. أغلفة LDPE؛ الأوكالبتوس *camaldulensis*؛ طماطم؛ نمو؛ الإنتاجية؛ تفسخ؛ المناخ المحلي؛ شدة الضوء؛ زيوت أساسية.

Liste des abréviations

E:	Eucalyptus.
LDPE:	Polyéthylène a base densité
PE:	Polyéthylène.
HR:	Humidité relative.
T°C:	Temperature en degrés Celsius.
GC-MS:	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.
GC-FID:	Chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme.
UV-Vis:	Spectroscopie ultraviolet-visible.
FTIR:	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

Liste des figures

Figure 01 : La diversité morphologique des espèces de tomates.....	9
Figure 02: Disposition des pots de culture de la tomate au niveau de la serre tri-couche.....	15
Figure 03 : Germination d'une graine de tomate.....	16
Figure 04 : Appareils utilisés pour mesurer les paramètres climatiques et le flux lumineux (a: Luxmètre; b: Multimetrix).....	17
Figure 05 : Comparaison des variations climatiques et du flux lumineux pendant la période d'expérimentation (a: serre tri-couche; b: serre monocouche).....	18
Figure 06 : Analyse de la variance ANOVA présentant l'effet des paramètres climatiques et du flux lumineux sur le type de film de couverture (trois couches et monocouche).....	19
Figure 07: Analyse de variance montrant l'effet du temps et du type de film de couverture de serre sur la longueur de la tige de deux variétés de tomates (ACE 55 VF et Marmande S).....	19
Figure 08 : Analyse de variance montrant l'effet du temps et du type de film de couverture de serre sur le nombre de feuilles de deux variétés de tomates (ACE 55 VF et Marmande).....	20
Figure 09 : Analyse montrant l'effet des films tri-couche et monocouche sur le rendement de deux variétés de tomates (a: ACE 55 VF; b: Marmande).....	21
Figure 10: Vue générale montrant la disposition des sacs en plastique à l'intérieur de la serre monocouche.....	36
Figure 11 : Le processus de broyage des feuilles d' <i>E. camaldulensis</i>	37
Figure 12 : Préparation d'échantillons pour l'extraction d'huiles essentielles d' <i>E. camaldulensis</i>	38
Figure 13: Extraction de l'huile des feuilles d' <i>E. camaldulensis</i> à l'aide d'un appareil de type Clevenger.....	38
Figure 14 : Standard interne n-Tridecane.....	39
Figure 15 : Préparation des étalons commerciaux en concentration 1000 ppm.....	42

Figure 16 : Bar / Colonne Graphique de plusieurs variables montrant la comparaison de l'effet du film de couverture multicouche sur les paramètres climatiques et l'intensité lumineuse à l'intérieur des serres.....47

Figure 17 : Bar / Colonne Graphique de plusieurs variables montrant l'effet du film de couverture monocouche de serre sur les paramètres climatiques et l'intensité lumineuse.....47

Figure 18 : Étude de la croissance (hauteur de la plante et nombre de feuilles) d'*Eucalyptus camaldulensis* en fonction du temps et du type de film de couverture de serre.....48

Figure 19 : Analyse de la croissance en diamètre d'*Eucalyptus camaldulensis* en fonction du temps et du type de film de couverture de serre.....48

Figure 20 : Chromatographie en phase gazeuse des huiles essentielles de feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* cultivées dans les différentes serres (a : ordinaire, b : tricouche, et c : monocouche).....50

Figure 21 : Chromatographie GC-FID des différents groupes d'étalons avec un taux de concentration de 125 ppm (a : groupe A ; b : groupe b ; c : groupe C ; et d : groupe D).....54

Figure 22: Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe A.....55

Figure 23 : Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe B.....56

Figure 24 : Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe C.....56

Figure 25 : Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe D.....57

Figure 26 : Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe A.....58

Figure 27 : Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe B.....59

Figure 28 : Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe C.....59

Figure 29 : Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe D.....60

Figure 30 : Analyse de variance ANOVA comparant l'effet du type de film de couverture LDPE sur la teneur moyenne des composés d'huile essentielle d'*Eucalyptus camaldulensis* présents dans leurs feuilles (mg/g).....60

Figure 31 : Pourcentage de transmission de la lumière UV-visible à travers les films LDPE pendant leur processus de vieillissement (de mars à juillet). Ordinaire (a), trois couches (b) et monocouche (c).....76

Liste des Tableaux

Tableau 1: Origines et degrés de pureté des étalons commerciaux.....	41
Tableau 2: Détermination du volume à prélever de la solution mère pour préparer la solution étalon diluée à une concentration de 1000 ppm.....	42
Tableau 3 : Composition chimique des huiles essentielles de l' <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	51
Tableau 4: Comparison of the relative average percentages of the chemical compounds found in the essential oils of <i>Eucalyptus camaldulensis</i> cultivated under the ordinary, three-layer and monolayer greenhouses.....	52
Tableau 5 : Moyenne mensuelle maximale de la température et de l'humidité relative pendant la période d'étude.....	74
Tableau 6. Comparaison de la moyenne mensuelle du flux lumineux traversant les films de couverture de la serre.....	75

Sommaire

<i>Remerciements</i>	I
<i>Dédicaces</i>	III
Abstract	V
Liste des abréviations	VII
Liste des figures	VIII
Liste des Tableaux	XI
Sommaire	XII
<i>Introduction générale</i>	1
OBJECTIFS GENERAUX	5
<i>Chapitre 01 : Etude de la croissance et de la production de deux variétés de tomates vis-à-vis de leurs serres de culture</i>	6
1.1. CONTEXTE	7
1.1.1. <i>La culture sous serre</i>	7
1.1.2. <i>Tomates</i>	7
1.1.2.1. Description de la plante	8
1.1.2.2. Variétés de tomates	8
1.1.2.3. Composition et bénéfices de la tomate	9
1.1.2.4. Culture de la tomate	10
1.1.2.5. Contraintes rencontrées lors de la culture des tomates et facteurs affectant leur qualité nutritionnelle	11
1.1.2.6. Culture de la tomate en Algérie	12
1.2. OBJECTIFS	13
1.3. MATERIELS ET METHODS	14
1.3.1. <i>Zone d'étude</i>	14
1.3.2. <i>Matériels</i>	14
1.3.3. <i>Méthodes</i>	14
1.3.3.1. Mise en place et revêtement des serres	14
1.3.3.2. Préparation du sol	15
1.3.3.3. Semis et transplantation des plants de tomate	16
1.3.3.4. Mesure des paramètres climatiques et du flux lumineux	16
1.3.3.5. Mesure du rendement et des paramètres biométriques	17
1.3.3.6. Analyses statistiques	17

1.4. RESULTATS	17
1.4.1. Paramètres climatiques et flux lumineux.....	17
1.4.2. Parametres de croissance des deux varietes de tomate (ACE 55 VF et Marmande)	19
1.4.3. Comparaison hebdomadaire du rendement des variétés de tomate par rapport a leurs serres de culture	20
1.5. DISCUSSION.....	21
1.6. CONCLUSION	27

Chapitre 02 : Etude de la croissance et de la composition chimique des huiles essentielles d'Eucalyptus camaldulensis cultivées en serre différenciées par le film de couverture LDPE..... **28**

2.1. CONTEXTE.....	29
2.1.1. Présentation de l'Eucalyptus camaldulensis.....	29
2.1.2. Description de l'arbre d'Eucalyptus camaldulensis.....	29
2.1.3. Huiles essentielles.....	30
2.1.3.1. Introduction des huiles essentielles	30
2.1.3.2. Application des huiles essentielles.....	30
2.1.3.3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles	30
2.1.3.3.1. Hydrodistillation	30
2.1.3.3.2. Distillation à la vapeur	31
2.1.3.3.3. Distillation sous vide « vaccum distillation »	31
2.1.3.3.4. Extraction par solvants organiques	31
2.1.3.3.5. Extraction par micro-ondes sans solvant	32
2.1.3.3.6. Extraction par fluide supercritique	32
2.1.4. Les huiles essentielles de l'Eucalyptus camaldulensis	32
2.2. OBJECTIFS.....	33
2.3. MATERIELS ET METHODES	34
2.3.1 Zone d'étude.....	34
2.3.2. Matériels.....	34
2.3.2.1. Matériel végétal.....	34
2.3.2.2. Équipement et réactifs.....	34
2.3.2.2.1. Equipment pour la serre de culture	34
2.3.2.2.2 Equipment and réactifs pour l'extraction et la caractérisation des huiles essentielles de l'Eucalyptus camaldulensis	34
2.3.3. Méthodes	35
2.3.3.1. Installation et recouvrement des serres	35
2.3.3.2. Culture en serre.....	35
2.3.3.3. Mesures des paramètres climatiques et du flux lumineux	36
2.3.3.4. Mesure des paramètres biométriques.....	36

2.3.3.5. Extraction des huiles essentielles.....	37
2.3.3.6. Caractérisation des huiles essentielles.....	39
2.3.3.6.1. Préparation des solutions de solvants	39
2.3.3.6.1.1. Préparation de la solution (solvant + IS)	39
2.3.3.6.1.2. Préparation de la solution (solvant + IS de 5 ppm)	39
2.3.3.6.1.3. Préparation de la solution (solvant + IS de 10 ppm)	40
2.3.3.6.2. Préparation des échantillons pour les analyses GC-MS	40
2.3.3.6.3. Préparation des échantillons pour les analyses GC-FID	40
2.3.3.6.4. Préparation des étalons commerciaux	41
2.3.3.6.4.1. Préparation des étalons en concentration de 1000 ppm	43
2.3.3.6.4.2. Préparation des étalons en concentration de 500 ppm	43
2.3.3.6.4.3. Préparation des étalons en concentration de 125 ppm	43
2.3.3.6.4.4. Préparation des étalons en concentration 65,25 ppm	44
2.3.3.6.4.5. Préparation des étalons en concentration 12.5 ppm	44
2.3.3.6.4.6. Préparation des étalons en concentration 6.12 ppm	45
2.3.3.6.4.6. Préparation des étalons en concentration 6.12 ppm	45
2.3.3.7. Rendement de l'huile de feuille d'E. camaldulensis.....	45
2.3.3.8. Analyse GC-MS.....	45
2.3.3.9. Analyse GC-FID.....	46
2.3.3.10. Quantification des composés organiques volatils trouvés dans l'huile essentielle d'Eucalyptus camaldulensis.....	46
2.3.3.11. Analyse statistique.....	46
2.4. RESULTATS.....	47
2.4.1. Comparaison hebdomadaire des paramètres climatiques et du flux lumineux pour une période de 14 mois.....	47
2.4.2. Comparaison des paramètres de croissance de l'Eucalyptus camaldulensis.....	48
2.4.3. Rendement des huiles essentielles extraites des feuilles d'Eucalyptus camaldulensis.....	49
2.4.4. Analyse chromatographique et composition des huiles essentielles de l'Eucalyptus camaldulensis.....	49
2.4.4.1. Identification des composés.....	49
2.4.4.2. Détermination de la teneur en composés dans l'huile essentielle d'E. camaldulensis.....	52
2.5. DISCUSSION.....	60
L'huile essentielle de feuille d'E. camaldulensis cultivée sous serre monocouche a présenté la teneur la plus élevée en aromadendrène, viridiflorène, globulol et spathuléol. Selon Pérez-Hernández et al. (2009), la molécule aromadendrène reconnue sous le nom de spathuléol a diverses activités biologiques telles qu'antifongiques, antivirales, cytotoxiques et régulatrices du développement des plantes (Pérez-Hernández et al., 2009).	65
2.6. CONCLUSION.....	65

Chapitre 03: Etude de la dégradation chimique des films LDPE utilisés comme matériau de couverture de serre67

3.1. CONTEXTE68

3.1.1. Films Polyéthylènes69

En raison de leurs propriétés mécaniques remarquables, les films de polyéthylène (PE) sont désormais produits en permanence dans le monde et ont des utilisations diverses, représentant 64 % du matériau d'emballage fabriqué et sont généralement jetés après une seule et courte utilisation (Petukhova et Fedorov, 2019 ; Sudhakar et al. , 2008). Le polyéthylène est un matériau abordable, inerte et particulièrement résistant à la dégradation biotique, et ne signale pas de danger écotoxicologique particulier (Koutny et al., 2006)..... 69

3.1.1.1. Fabrication de polyéthylène 69

Le film de polyéthylène est principalement réalisé avec une épaisseur à partir de 8 µm. Néanmoins, une exposition continue au soleil est considérée comme la cause principale et rapide de sa dégradation, même s'il contient des stabilisants (Koutny et al., 2006). Le polyéthylène est principalement composé d'une longue chaîne de liaisons CC et CH, ainsi que d'oxygène, de soufre et/ou d'azote, et a une structure moléculaire semi-cristalline et élevée (Koutny et al., 2006 ; Martínez-Romo et al., 2015 ; Roy, 2013). De plus, les films de polyéthylène sont essentiellement fabriqués avec une méthode multicouche, en utilisant le système de coextrusion, en joignant divers matériaux vierges (Caro et Comas, 2017)..... 69

3.1.1.2. Applications du polyéthylène 69

Grâce à sa flexibilité, le film LDPE est le plus utilisé dans le domaine commercial, tel que la fabrication de sacs et bouteilles, et l'emballage alimentaire. De plus, en raison de sa transparence, il est parfait pour les produits de revêtement qui nécessitent principalement une observance visuelle (Manohar et al., 2015). Ce type de plastique est également utilisé pour le revêtement des serres grâce à ses caractéristiques mécaniques et physiques (Aumnatea et al., 2010). 69

3.1.1.3. Problèmes environnementaux du polyéthylène 69

3.2. OBJECTIFS70

3.3. MATERIEL ET MÉTHODES72

3.3.1. Zone d'étude72

3.3.2. Matériel72

3.3.3. Méthodes73

3.3.3.1. Installation et couverture de serre (voir chapitre 1 et 2)..... 73

3.3.3.2. Paramètres climatiques et mesure de l'intensité lumineuse 73

Les trois serres avaient la même surface et partageaient des conditions extérieures égales d'altération naturelle et de rayonnement UV. Les microclimats (température et humidité relative) ont été suivis à l'aide d'un sponsor appelé multimetrix (data logger DL53) qui était situé au milieu des serres. Les paramètres des moyennes mensuelles maximales ont été calculés et comparés aux paramètres climatiques externes. De plus, l'intensité lumineuse traversant chaque serre a été mesurée avec un luxmètre (AMPROBE LM-120) et la moyenne mensuelle a été calculée..... 73

3.3.3.3. Echantillonnage	73
<hr/>	
Des échantillons ont été prélevés au hasard en coupant les films de couverture en plastique pendant une période de 5 mois (une fois par mois).	73
<hr/>	
3.3.3.4. Analyse UV-visible spectroscopie	73
<hr/>	
La spectroscopie ultraviolet-visible est une technique souvent utilisée pour déterminer le pourcentage de transmittance et le degré d'absorbance des rayonnements dans la zone spectrale UV-visible. Cette zone du spectre électromagnétique est liée aux transitions électroniques des atomes et des molécules (Zhao et al., 2019). Cette technique a été utilisée pour étudier les changements de la transmittance UV-visible des films LDPE utilisés pour la couverture des serres. Le pourcentage de transmission de la lumière dans la région UV (200-400 nm) et la transmission de la lumière visible (400-700 nm) ont été enregistrés. Tous les spectres ont été enregistrés dans un spectromètre UV/Vis Specord 210. Les données ont été préalablement visualisées et analysées par le logiciel WinASPECT 2.2.1.0 puis rassemblées et transformées en de nouveaux spectres réalisés par Microsoft Excel pour chaque type de film LDPE.	73
<hr/>	
3.3.3.5. Analyse FTIR spectroscopie	73
Les spectres FT-IR (4000 et 650 cm ⁻¹) ont été enregistrés à l'aide d'un spectromètre Jasco FT-IR 6300 et d'un ATR à réflexion totale atténuée. Les spectres ont été corrigés de la ligne de base (Gijsman, 2008). L'absorbance de bandes spécifiques a été mesurée et l'identification de la compatibilité des bandes avec les liaisons spécifiques et les groupes fonctionnels a été réalisée à l'aide de tables de référence.	74
3.4. RESULTATS	74
3.4.1. Paramètres climatiques et analyse de l'intensité lumineuse	74
3.4.2. UV-vis spectroscopie	75
Fig.31. Pourcentage de transmission de la lumière UV-visible à travers les films LDPE pendant leur processus de vieillissement (de mars à juillet). Ordinaire (a), trois couches (b) et monocouche (c)	76
3.4.3. FT-IR spectroscopie	76
3.5. DISCUSSION.....	76
3.6. CONCLUSION	79
<i>Conclusion générale et perspectives</i>	80
<i>References</i>	83

Introduction générale

Une serre est une constitution fermée qui assure la protection des plantes et génère un microclimat approprié pour leur développement et leur productivité, en particulier dans les zones aux conditions climatiques difficiles. Cela leur permet d'être cultivées dans un environnement contrôlé qui comprend à la fois du sol et un microclimat auquel elles ne sont pas adaptées (Jones Jr, 1999; Sani et al., 2013). Les serres donnent généralement aux plantes la capacité de pousser pendant toutes les saisons puisqu'elles contrôlent différents facteurs tels que la température de l'air, le degré d'humidité, l'intensité lumineuse et le dioxyde de carbone (Al-Helal and Alhamdan, 2009). Cela contribue finalement à la production de fruits de qualité appropriés pour les exportations et la consommation intérieure (Singh and Sirohi, 2006). On ne peut s'attendre à une bonne récolte de fruits s'il n'y a pas eu une croissance végétative raisonnable.

Le matériau utilisé pour la couverture de serre permet la transmission de la lumière, fournissant l'énergie nécessaire à la croissance et à la productivité des plantes (Al-Helal and Alhamdan, 2009). Les plantes réagissent à la transmission de la lumière en fonction de son intensité, de sa durée, et de la façon dont elle est répartie dans la serre. En outre, le matériau de revêtement peut affecter indirectement la température de l'air et l'humidité à l'intérieur de la serre (Al-Helal and Alhamdan, 2009).

Les films multicouches conventionnels de PE-BD sont la meilleure solution pour de nombreuses applications telles que la plasticulture car ils sont bon marché, faciles à traiter, mécaniquement résistants, et bio-inertes. Ils répondent également aux besoins des plantes en ne transmettant que 80% de l'infrarouge et 80% du rayonnement solaire global (Langlais and Ryckewaert, 2000). Cependant, la dégradation du polyéthylène exposé à différentes conditions environnantes n'est toujours pas bien comprise en raison de son processus complexe, car de nombreux mécanismes de dégradation fonctionnent ensemble jusqu'à l'endommagement global du matériau (Dehbi and Mourad, 2016). En fait, dans des conditions environnementales difficiles, il est presque impossible de contrôler la température traversant la serre, en particulier pendant l'été (Abreu et al., 2019). Cela représente un problème non seulement pour les films en plastiques mais aussi pour la culture en serre.

La tomate est l'un des aliments sains les plus populaires dans le monde (Bhowmik et al., 2012). C'est l'une des espèces végétales qui a l'avantage d'être cultivée sous serre toute l'année. En outre, ses cultures sont largement cultivées dans de grandes sortes de conditions

environnantes avec divers états climatiques dans le monde, à commencer par certaines zones de climat tropical jusqu'à certains degrés du cercle polaire arctique (Golam et al., 2012). La tomate de serre pourrait être plus lucrative que les cultures agronomiques formelles; cependant, elle fait face à plusieurs stress abiotiques. Il convient de mentionner l'existence d'une relation complexe entre la croissance, la reproduction, et les conditions hydriques des plants de tomate (Atkinson et al., 2011). Cette interaction est principalement due au stress subi par la condition environnante, la qualité de nutrition, et les paramètres de rendement (Atkinson et al., 2011).

Lorsque les plantes sont cultivées dans des conditions normales de serre, elles sont généralement exposées à un stress à tout moment (Atkinson et al., 2011). Les températures extrêmes peuvent être aujourd'hui un inconvénient majeur (Golam et al., 2012). En outre, la croissance et la physiologie des plantes sont extrêmement influencées par le spectre lumineux de l'environnement de croissance. De plus, le contrôle de la température et la réduction de l'humidité relative jouent un rôle principal dans la préservation de la santé des cultures sous serre (Jiao et al., 2007).

L'intérêt scientifique de l'huile essentielle d'eucalyptus sp. a augmenté en raison de ses aspects bénéfiques dans les domaines médicaux et commerciaux. Parmi les propriétés médicales, on peut citer des bioactivités antibactériennes, antimicrobiennes, antifongiques et aussi antivirales (Aleksic Sabo and Knezevic, 2019). Grâce à ces différentes propriétés, la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus est assez particulière (Carson and Hammer, 2010). Les composés chimiques des huiles essentielles d'*Eucalyptus camaldulensis* sont principalement des hydrocarbures, des terpènes (hydrocarbures monoterpènes et des hydrocarbures sesquiterpènes) et des terpénoïdes, également divisés en monoterpènes oxygénés et sesquiterpènes oxygénés (Aleksic Sabo and Knezevic, 2019; Gakuubi, 2016).

La composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus peut différer d'un arbre à l'autre de la même espèce (Carson and Hammer, 2010). Cela dépend du moment de la récolte, du processus d'extraction, de la période d'extraction, de la saison de croissance et de l'environnement de croissance (Ben Hassine et al., 2010; Ben Jemâa et al., 2012; Tsiri et al., 2003). Additionnellement, la variation de l'écotype, le degré de maturité de la plante et la capacité de cette espèce à s'acclimater à son nouvel environnement dans lequel elle est introduite, sont tous des facteurs importants de la variation chimique des huiles essentielles (Aleksic Sabo and Knezevic,

2019). La composition chimique des huiles essentielles peut même varier pour la même espèce lorsque l'extraction se fait à partir de différentes parties de la plante (Aleksic Sabo and Knezevic, 2019). Les conditions environnantes des plantes n'affectent pas seulement la composition chimique mais aussi le rendement d'extraction des huiles essentielles (Ben Jemâa et al., 2012). De plus, une différence dans la nutrition du sol et son accumulation dans les feuilles de la plante peut entraîner une variation de son métabolisme et donc, une différence dans la composition chimique de ses huiles essentielles ainsi que dans la quantification de leurs composés (Aleksic Sabo and Knezevic, 2019). Enfin, la procédure d'extraction affecte non seulement la quantité d'extrait mais aussi sa qualité (Karacabey et al., 2013).

Cette étude met en évidence l'impact des conditions de serre sur la croissance et la production des plants de tomates et d'*Eucalyptus camaldulensis*. Elle se concentre également sur l'étude de l'interaction entre le microclimat de la serre et l'intensité lumineuse sur la composition chimique des huiles essentielles extraites des feuilles d'*E. Camaldulensis*. En outre, la durée de vie et la résistance des matériaux de couverture de serre ont été examinées par rapport aux conditions environnementales de la zone semi-aride de Tiaret, en Algérie.

OBJECTIFS GENERAUX

Les principaux objectifs de cette étude étaient les suivants :

- Etudier et comparer l'évolution de la croissance de *Solanum lycopersicum* et *Eucalyptus camaldulensis* sous des serres différenciées par les films de couverture de LDPE ;
- La récolte finale des huiles essentielles de tomate et d'*Eucalyptus camaldulensis* a également été étudiée ;
- La composition chimique et la teneur en composés des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* ont été analysées ;
- La dégradation chimique des films de couverture de serre en LDPE a été étudiée ;
- Enfin, l'effet du film de couverture de serre sur le développement de la tomate et de l'*Eucalyptus camaldulensis* a été comparé et conclu.

*Chapitre 01 : Etude de la croissance et de la
production de deux variétés de tomates vis-à-vis
de leurs serres de culture*

1.1. CONTEXTE

Le but de la présente étude était de réaliser deux systèmes de production, qui étaient : une serre recouverte d'un film LDPE monocouche et une seconde recouverte d'un film LDPE tri-couche, pour la culture de deux variétés de tomates (ACE 55 VF et Marmande). Cette étude était fondée sur l'analyse et la comparaison du développement et de la production de plants de tomates, basée sur l'effet des deux films de couverture de serre différents dans les conditions climatiques d'une zone semi-aride.

1.1.1. La culture sous serre

La culture sous serre est aujourd'hui considérée comme le système de production végétale le plus élevé, sachant qu'elle peut fournir des fruits et légumes tout au long de l'année et partout dans le monde (Boulard et al., 2011). Cinquante-pour-cent des légumes frais dans le monde sont cultivés en serre (Boulard et al., 2011).

Par rapport aux inconvénients de la production sous serre, les avantages environnementaux ne sont pas encore bien étudiés (Boulard et al., 2011). La première préoccupation de la culture sous serre est de préserver un climat propice à la croissance et à la productivité des plantes (Nicot and Baille, 1996). Cependant, cela ne peut pas être réalisé par une serre en plastique ordinaire en raison de l'absence d'un système de contrôle du climat.

La terre et l'eau sont considérées comme des facteurs décisifs qui pourraient affecter les résultats de l'agriculture. Néanmoins, le système de culture sous serre est très remarquable en termes d'économie d'eau, notamment dans les régions déficitaires en eau (Boulard et al., 2011).

La gestion phytosanitaire est meilleure en conditions protégées (Boulard et al., 2011). De même, le contrôle des facteurs environnementaux en conditions de serre, permet de remplacer la lutte chimique par la lutte intégrale (Nicot and Baille, 1996).

1.1.2. Tomates

La tomate appartient à la famille des Solanacées, qui comporte environ 400 autres espèces présentant de fortes variations morphologiques, comme la pomme de terre et l'aubergine (Pavan et al., 2009 ; Salim et al., 2016). Elle était auparavant appelée *Lycopersicon esculentum* Mill. puis *Solanum lycopersicum*, à la suite de nombreuses études phylogénétiques fondées sur des paramètres au niveau moléculaire (Pavan et al., 2009).

La tomate a d'abord été développée dans la région des Andes en Amérique du Sud (Kacjan-Maršić et al., 2005), puis introduite en Europe au début du XVI^e siècle. Elle a ensuite été cultivée en Amérique du Nord (18^e siècle) et s'est ensuite étendue en Europe en 1500 (Salim et al., 2016), puis au reste du monde (Yilmaz, 2001). Divers cultivars de tomates ont commencé à exister à la fin du 19^{ème} siècle, présentant des différences de couleur, de forme et de but d'utilisation (Pavan et al., 2009).

En botanique, la tomate est considérée comme un petit fruit, cependant, elle est cultivée et consommée en tant que légume (Slimestada et Verheulb, 2009). C'est une plante vivace de saison chaude (Yilmaz, 2001), néanmoins, elle pourrait être cultivée comme annuelle dans les régions caractérisées par des climats tempérés (Pavan et al., 2009).

1.1.2.1. Description de la plante

La tomate est caractérisée par des systèmes racinaires fibreux et fasciculés qui peuvent s'étendre jusqu'à 1,5 m de profondeur. Les feuilles sont pour la plupart composées et pennées, atteignant une longueur de 20 à 30 cm avec 7 à 11 folioles d'environ 8 cm de long (Pavan et al., 2009). De plus, les fleurs sont jaunes, atteignant 1 à 3 cm de long en pleine floraison. L'aspect morphologique de la fleur permet son autopollinisation. Enfin, le fruit de la tomate est une baie constituée de graines à l'intérieur d'un péricarpe charnu développé à partir de l'ovaire (Pavan et al., 2009).

1.1.2.2. Variétés de tomates

Les semis de tomates ont de nombreuses variétés qui peuvent être distinguées par la qualité, le poids et le rendement de leurs fruits, ainsi que par la hauteur des plantes et le nombre de fruits par plante (Naz et al., 2011). Les variétés de tomates pourraient également être classées selon leur mode de consommation. Celles qui sont consommées fraîches et généralement cultivées en serre ou en plein champ, et celles qui sont utilisées pour la transformation pour des fins industrielle (Pavan et al., 2009). Le type classique (rond) est généralement utilisé pour la salade et se caractérise par sa jutosité et par sa grande quantité de pulpe (Salim et al., 2016). Ce type est consommé frais et pèse entre 70 et 100 grammes (Pavan et al., 2009).

La tomate prune a la forme d'un œuf et pèse environ 30 à 50 g (Pavan et al., 2009). Cette variété de prune est principalement utilisée pour la mise en conserve et connue pour sa chair épaisse et sa faible quantité de pulpe, contrairement à la salade (Salim et al., 2016). La tomate

cerise a une forme ronde et pèse environ 10 à 20 g (Pavan et al., 2009). On peut aussi citer la tomate Beefsteak, plus grosse (180 - 250 g) que les autres et ayant également une quantité réduite de pulpe (Kacjan-Maršić et al., 2005). Ce genre est généralement utilisé pour les sandwichs, les salades (Pavan et al., 2009) et même les sauces (Kacjan-Maršić et al., 2005).



Fig.1. La diversité morphologique des espèces de tomates (Pavan et al., 2009).

1.1.2.3. Composition et bénéfices de la tomate

Les tomates sont une excellente source de minéraux et de composés antioxydants tels que les caroténoïdes de couleur rouge qui sont connus pour leur capacité à éliminer l'excès de chaleur en cas de carence en eau (Atkinson et al., 2011), et les flavonoïdes, qui jouent un rôle dans la défense des plantes contre le stress grâce à leurs constituants phénoliques bioactifs (Williams et al., 2004). Les flavonoïdes peuvent être trouvés dans toutes les plantes terrestres et ils existent dans tous les organes, qui comprennent les fleurs, les fruits, les feuilles, les tiges et les racines (Slimestada et Verheulb, 2009). Elles ont des propriétés anti-inflammatoires et jouent un rôle majeur contre le cancer, les maladies cardiovasculaires et d'autres liées à l'âge humain (Nijveldt et al., 2001).

La tomate joue également un rôle dans l'amélioration de l'équilibre énergétique et de la gestion du poids (Dorais et al., 2008). De plus, elle joue un rôle important contre les problèmes pulmonaires, ainsi que dans l'amélioration de la vision humaine et la guérison des problèmes d'asthme et de respiration (Salim et al., 2016). La tomate est également riche en vitamine E et C, sachant qu'elle contient de l'acide ascorbique, qui est l'antioxydant le plus puissant des plantes (Dorais et al., 2008). Le fruit de la tomate contient environ 89 à 90 % de lycopène sur la teneur totale en caroténoïdes. Ce constituant est le caroténoïde le plus efficace en termes d'activité antioxydante (Dorais et al., 2008).

La saveur aigre-douce de la tomate est due à son arôme de constituants volatils et non volatils, tels que le sucre (environ 50 % de glucose et de fructose) et environ 15 % d'acides organiques (Yilmaz, 2001). Les acides aminés libres font également partie des composés non volatils présents dans les fruits de la tomate, avec environ 2 à 2,5 % de la teneur totale. De plus, la tomate contient environ 8 % de minéraux (Yilmaz, 2001) ; 3,1 % de glucides ; 0,7 % de protéines et 0,31 % d'azote de sa teneur totale en matière sèche (Salim et al., 2016). Selon Salim et al. (2016), la tomate contient 93,1 % d'eau. Enfin, la tomate contient plus de 400 composés volatils aromatiques parmi lesquels, on peut citer le cis-3-hexénal, l'hexanal, le cis-3-hexénol, la β -ionone, la β -damascénone, la 1-pentène-3-one, le 3 méthylbutanal, et 2-isobuthylthiazole (Yilmaz, 2001).

1.1.2.4. Culture de la tomate

Grâce à ses propriétés nutritionnelles et son rôle majeur dans l'approvisionnement de la chaîne alimentaire et dans le contrôle de l'alimentation pour prévenir les maladies chroniques, la tomate est classée troisième dans la liste des légumes de plus grande importance dans le domaine agricole dans le monde. Elle vient juste après la pomme de terre et le manioc (Atkinson et al., 2011), et selon Dorais et al. (2008), la tomate occupe la deuxième place après la pomme de terre en tant que le légume le plus important au monde (Dorais et al., 2008).

La plupart des serres industrielles cultivent la tomate de type rouge, cependant, il existe un intérêt croissant pour les autres types de tomate, comme la jaune et l'orange (Dorais et al., 2001).

La qualité des tomates peut être déterminée par leur saveur et leur apparence, telles que la couleur, la taille, la forme, la fermeté et la texture. La pérennité post-récolte est également un critère important pour déterminer la qualité du fruit (Dorais et al., 2001).

1.1.2.5. Contraintes rencontrées lors de la culture des tomates et facteurs affectant leur qualité nutritionnelle

De nombreux chercheurs ont mis en lumière les investigations sur la détermination des facteurs les plus susceptibles d'affecter la culture de la tomate et la possibilité d'améliorer son côté nutritionnel en développant de meilleures conditions contre le stress subi par les plantes (Dorais et al., 2008).

La qualité du fruit de la tomate en termes de composition interne dépend de nombreux paramètres, tels que la variété végétale, le stade de maturation, les conditions de croissance, et le niveau de stress généré par cette dernière (Atkinson et al., 2011). La composition chimique des fruits de tomates fraîches peut différer en raison de la variation des facteurs environnementaux et des applications culturales (Slimestada et Verheulb, 2009). Elle dépend aussi de la phase de maturité, de la période de croissance et des conditions climatiques (Yilmaz, 2001).

Les caractéristiques génétiques des variétés de tomates et les pratiques de gestion des cultures sont également des facteurs importants qui pourraient influencer la croissance et la production des plantes (Juneau et al., 2006 ; Martins et al., 2018).

Dans une étude antérieure sur l'impact environnemental sur la qualité nutritionnelle de la tomate, de nombreux facteurs tels que la lumière, la température, le CO₂, la qualité de l'air et les contaminants ont été étudiés. Il a été perçu que les phytonutriments de la tomate sont fortement affectés par l'intensité et la durée de la lumière (Dorais et al., 2008). En effet, la teneur de la tomate en vitamine C, lycopène, -carotène et composés phénoliques augmente avec une intensité lumineuse élevée (Merzlyak et al., 2002). La synthèse de l'acide ascorbique dans les tomates n'a pas besoin de lumière, cependant, son contenu en est affecté, car il a besoin de photosynthèse pour être synthétisé (Lee et Kader, 2000). De plus, la lumière joue un rôle majeur dans la définition de la teneur en caroténoïdes (Dorais et al., 2008).

La température a un impact direct sur la qualité du fruit de la tomate (couleur, texture, taille et saveur) et sa valeur nutritionnelle en affectant le métabolisme de la plante et la structure cellulaire (Dorais et al., 2001). Elle a un impact direct sur le processus de photosynthèse et la respiration des cultures, entraînant diverses altérations de sa composition finale, de sa fermeté et de son activité antioxydante (Moretti et al., 2010). Certains chercheurs ont déclaré que le

développement du lycopène pourrait être inhibé si la température est inférieure à 10 °C ou supérieure à 30 °C. La teneur en lycopène et en β -carotène des tomates est affectée par des changements extrêmes de température. Les températures élevées affectent également la teneur en vitamine C en perturbant le métabolisme du sucre dans les fruits (Dorais et al., 2001).

Dans des conditions de type serre tunnel, la vitesse de l'air dans les zones centrales du tunnel est relativement inférieure à celle située près de l'ouverture des vents (Boulard et al., 2004). Par conséquent, la ventilation de la serre ou les ouvertures d'aération sont des étapes cruciales pour contrôler l'humidité de l'air, en particulier au niveau des feuilles, ce qui pourrait fermer la porte à de nombreuses attaques potentielles de ravageurs générées par la transpiration des plantes à l'intérieur de la serre (Boulard et al., 2004).

Dans des conditions de serre de type tunnel, la vitesse de l'air dans les zones centrales du tunnel est relativement inférieure à celle située près de l'ouverture de l'évent (Boulard et al., 2004). Par conséquent, la ventilation de la serre ou les ouvertures d'aération sont des étapes cruciales pour contrôler l'humidité de l'air, en particulier au niveau des feuilles, ce qui pourrait fermer la porte à de nombreuses attaques potentielles de ravageurs générées par la transpiration des plantes à l'intérieur de la serre (Boulard et al., 2004).

1.1.2.6. Culture de la tomate en Algérie

En Algérie, les agriculteurs dépendent principalement des modes d'agriculture traditionnels, qui sont la culture en plein air ou l'utilisation des serres en plastique régulières.

En raison de la croissance démographique en Algérie, le besoin de consommation de tomates augmente également. En fait, la tomate est le premier légume produit dans le domaine agricole de la région du sud-est de l'Algérie, avec une valeur de 975 000 tonnes en 2013 (Abderrahmene et al., 2019), passant à près de 1,5 million de tonnes en 2019 (FAO, 2019) . De plus, en 2013, la culture de la tomate occupait environ 8,2 % de la région totale affectée à l'horticulture ainsi qu'aux cultures industrielles (Messak, 2014).

Les principales régions pour pratiquer la culture de la tomate sont situées dans la partie orientale de l'Algérie, telles que Guelma, Annaba, El-Taref et Skikda (Messak, 2014).

1.2. OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude étaient les suivants :

- Analyse de l'effet de deux types de films de LDPE (tri-couches et monocouches) utilisés comme films de couverture de serre, sur la croissance et le rendement de deux variétés de tomates ;
- Définir le film de couverture de serre le plus adapté à la culture de la tomate en zone semi-aride.

1.3. MATERIELS ET METHODS

1.3.1. Zone d'étude

Cette étude a été réalisée à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie.

1.3.2. Matériels

Le matériel utilisé dans cette étude été composé de :

- Un film tricouche et un film monocouche de PE-BD fabriqués au niveau de la compagnie Agrofilm (Setif, Algérie);
- Un film commercialisé de PE-BD nommé Ordinaire;
- Graines de deux variétés de tomate (Marmande et ACE 55 VF) issues de l'Espagne;
- Sol Agricole;
- Sable fin;
- 60 pots pour la culture de la tomate;
- Arrosoir de jardin manuel;
- Multimetric (Data logger DL53) ;
- Luxmètre ;
- Pied à coulisse ;
- Mètre à ruban ;
- Ordinateur portable.

1.3.3. Méthodes

1.3.3.1. Mise en place et revêtement des serres

Trois serres en plastique de type tunnel ont été installées et recouvertes de films de PE-BD. Les dimensions de chaque serre étaient identiques (largeur (l) = 8 m; longueur (l) = 16 m; hauteur (h) = 3,5 m; surface (s) = 128 m²; et volume (v) = 306,5 m³). Les structures partageaient la même surface de 128 m², ainsi que les conditions externes et internes à l'exception du type de matériau de revêtement, qui à son tour, a créé un microclimat spécifique à l'intérieur de chaque serre. L'une des serres était recouverte d'un film monocouche et située à côté des deux autres qui partageaient le même cadre métallique et étaient recouvertes de films tri-couches. Un couloir

interne séparait ces deux serres. L'un de ces derniers, nommé ordinaire, était à l'origine de couleur jaune et était considéré comme témoin du fait qu'il soit utilisé par la majorité des agriculteurs de la région et peut être acheté sur tous les marchés algériens. Malheureusement, les propriétés de ce film sont restées inconnues en raison de l'identité anonyme du fournisseur. Les autres films ont été fabriqués par une société nommée Agro-film, située dans la région Est de l'Algérie, en utilisant un système de coextrusion et d'extrusion et en ajoutant certains additifs tels que des plastifiants anti-ultraviolets, antioxydants et stabilisants au nickel (Mourad and Dehbi, 2014). Ces deux films partageaient la même épaisseur de 180 μm , sauf que le film monocouche était extrudé et incolore, tandis que le film tri-couche était co-extrudé et d'une couleur jaune clair (Mourad and Dehbi, 2014).

1.3.3.2. Préparation du sol

Le sol a été préparé comme suit :

- 20 pots en plastique ont été mis en place au niveau des deux serres monocouche et tri-couche (10 pots pour chaque variété) ;
- Le sol utilisée pour la culture de la tomate était composé de 50 % de sol agricole et 50 % de sable fin ;
- 400 g de sol été déposé dans chaque pot de culture ;
- La disposition (au centre) et la distance entre chaque pot de culture étaient identiques pour les deux serres en plastique.



Fig.2. Disposition des pots de culture de la tomate au niveau de la serre tri-couche

1.3.3.3. Semis et transplantation des plants de tomate

Les graines de tomate ont été semées le 22 Février 2017, alors que la transplantation des jeunes plants de tomate a été effectuée le 25 Mars 2017. L'ensemble du processus a été fait comme suit:

- Onze bacs de culture ont été remplis de sol pour chaque variété de tomate, selon la serre de culture correspondante;
- Deux graines ont été déposées à la surface de chaque support de culture et recouvertes de terreau, qui a ensuite été humidifié ;
- Les deux graines ont été bien séparées ;
- La même opération a été répétée pour l'autre serre.
- Dix plants de chaque variété de tomate ont été choisis et transférés dans les plus grands pots en plastique ;
- Le sol de culture a préalablement été humidifié.



Fig.3. Germination d'une graine de tomate.

Après le processus de transplantation, les plants de tomates ont été régulièrement irrigués et les proportions d'eau d'irrigation étaient exactement les mêmes pour chacun.

1.3.3.4. Mesure des paramètres climatiques et du flux lumineux

Un appareil Multimetrix (DL 53 Data logger) a été utilisé quotidiennement pour déterminer les paramètres climatiques (température de l'air et humidité relative). De plus, un Luxmètre (AMPROBE LM-120) a été utilisé pour mesurer le flux lumineux. Les deux capteurs ont été placés au milieu des serres (au-dessus des plantes) lors de leur utilisation. De plus, toutes

les serres ont été exposées aux mêmes conditions extérieures telles que la température, l'humidité, les rayons UV, le vent, et le rayonnement solaire.



Fig.4. Appareils utilisés pour mesurer les paramètres climatiques et le flux lumineux (a: Luxmètre; b: Multimetrix)

1.3.3.5. Mesure du rendement et des paramètres biométriques

Les paramètres biométriques, tels que le nombre de feuilles et la longueur de la tige, ont été mesurés chaque semaine (une semaine après la transplantation). La hauteur de chaque plante a été mesurée et exprimée en centimètre depuis la surface du sol jusqu'au sommet de la tige. De plus, le rendement final de chaque variété de tomate sous la serre correspondante a été calculé en kg/m^2 .

1.3.3.6. Analyses statistiques

Les données des valeurs moyennes de croissance et de rendement des plants de tomates ont été étudiées en statique et les démonstrations graphiques ont été faites à l'aide du logiciel Statistica (version 8.0.360.0).

1.4. RESULTATS

1.4.1. Paramètres climatiques et flux lumineux

Une étude comparative des variations climatiques et du flux lumineux des serres tri-couche et monocouche est présentée dans la figure 5.

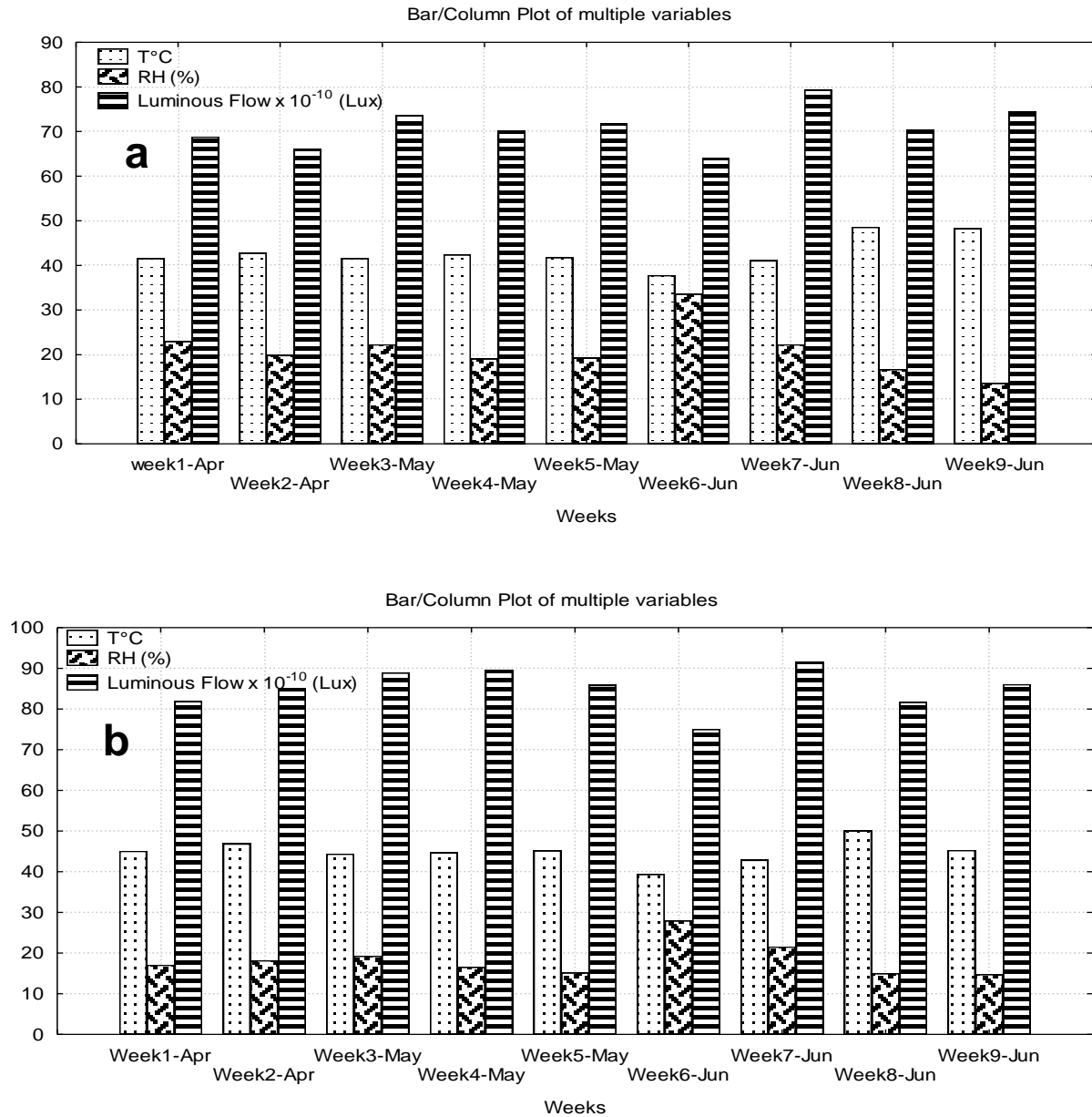


Fig. 5. Comparaison des variations climatiques et du flux lumineux pendant la période d'expérimentation (a: serre tri-couche; b: serre monocouche)

La figure 6 montre une analyse de la variance ANOVA montrant l'effet du type de film de couverture de serre (monocouche et trois couches), sur la température, l'humidité relative et le flux lumineux à l'intérieur des deux serres utilisées dans cette étude.

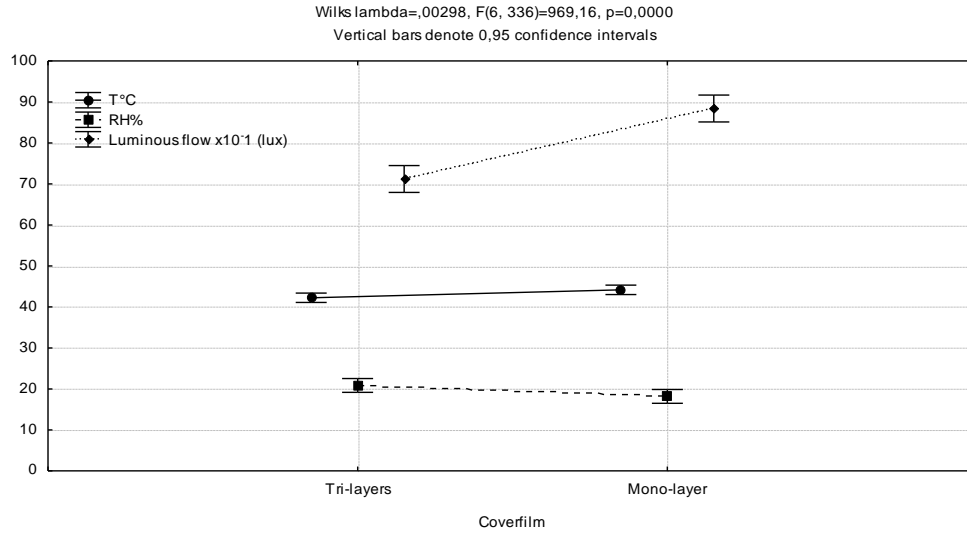


Fig.6. Analyse de la variance ANOVA présentant l'effet des paramètres climatiques et du flux lumineux sur le type de film de couverture (trois couches et monocouche)

1.4.2. Parametres de croissance des deux varietes de tomate (ACE 55 VF et Marmande)

Des analyses ANOVA ont été établies afin de comparer les valeurs moyennes de croissance de la longueur de la tige et du nombre de feuilles des deux variétés de tomates dans les deux serres (figures 7 et 8).

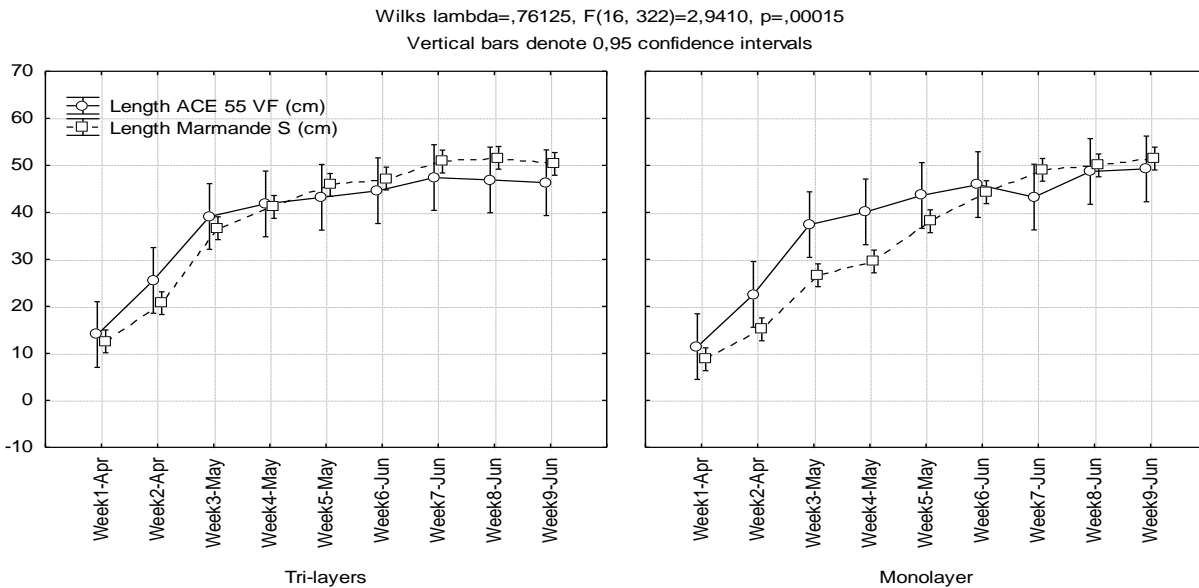


Fig.7. Analyse de variance montrant l'effet du temps et du type de film de couverture de serre sur la longueur de la tige de deux variétés de tomates (ACE 55 VF et Marmande S)

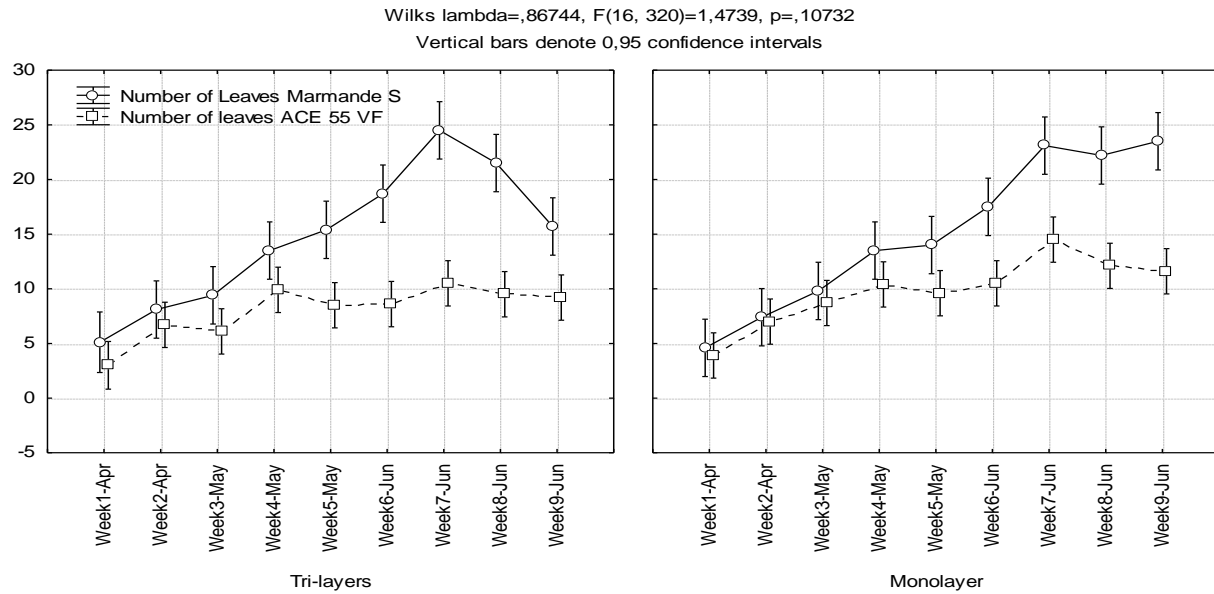


Fig.8. Analyse de variance montrant l'effet du temps et du type de film de couverture de serre sur le nombre de feuilles de deux variétés de tomates (ACE 55 VF et Marmande)

1.4.3. Comparaison hebdomadaire du rendement des variétés de tomate par rapport à leurs serres de culture

Une analyse statistique montrant une comparaison du rendement de la tomate sur une période de 4 semaines a été réalisée. Les deux variétés de tomates et les films de couverture de serre ont été considérées (figure 9).

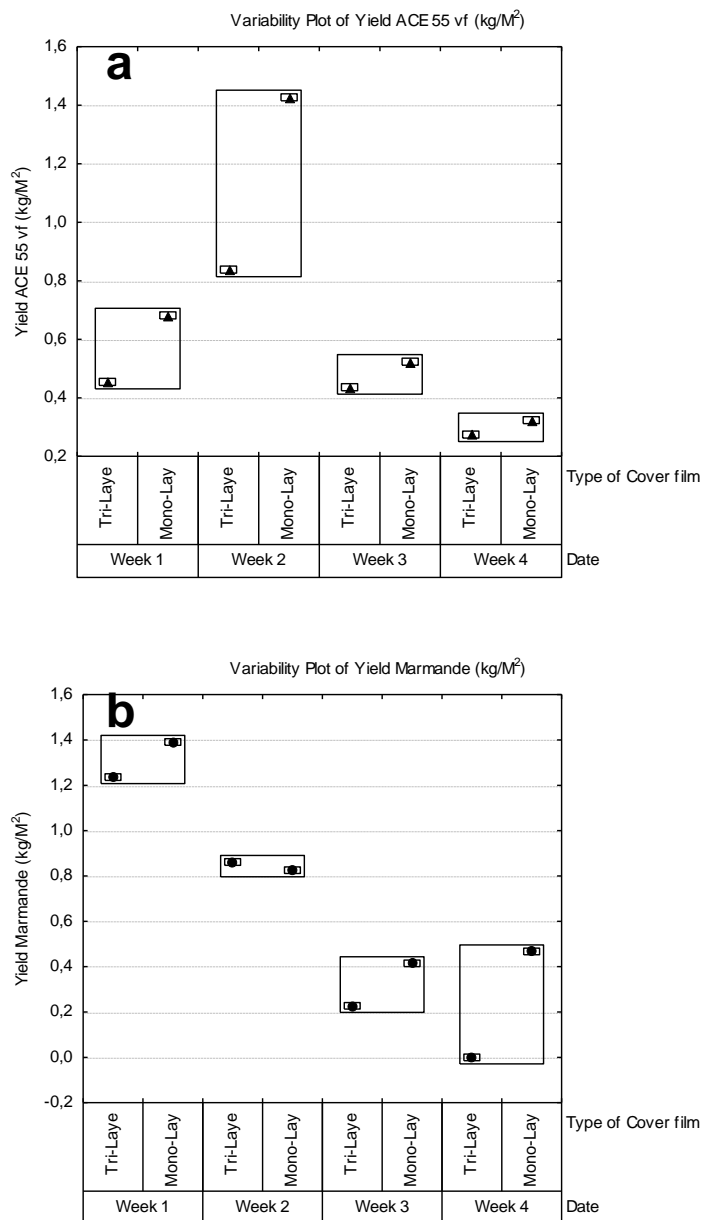


Fig.9. Analyse montrant l'effet des films tri-couche et monocouche sur le rendement de deux variétés de tomates (a: ACE 55 VF; b: Marmande)

1.5. DISCUSSION

L'analyse primaire de la figure 5 montre que la serre couverte par le film monocouche, a absorbé plus de lumière grâce à la couleur transparente de ce dernier. Elle était donc la plus éclairée avec une valeur moyenne totale d'environ $850 \pm 3,13$ Lux. La moyenne totale du flux lumineux atteint par la serre tri-couche était d'environ $701 \pm 2,86$ Lux. En effet, la différence de

luminosité au sein des deux serres était d'environ 150 Lux. De plus, la serre monocouche était plus chaude que la serre à trois couches et donc la moins humide. La différence de température entre les deux serres était d'environ 5 °C. En fait, pendant les cinq premières semaines de l'expérience, la température moyenne était assez similaire pour les deux serres, avec une valeur moyenne de $42,04 \pm 0,53$ °C et $45,26 \pm 0,97$ °C, cependant, l'humidité relative était d'environ $20,72 \pm 1,80$ % et $19,46 \pm 1,56$ % pour les serres tri-couche et monocouche, respectivement. Néanmoins, au cours de la sixième semaine, une singularité est apparue caractérisée par une baisse de température d'une valeur d'environ 4 °C (37,8 °C pour la serre tri-couche et 39,4 °C pour la serre monocouche). En conséquence, l'humidité de l'air a augmenté avec une valeur de 33,6 % et 28 % pour les serres tri-couche et monocouche, respectivement.

La figure 6 indique une différence hautement significative avec une valeur p ($p = 0.0000$) inférieure au niveau de confiance ($\alpha = 0.05$). En effet, il y avait une variation du microclimat et de l'intensité lumineuse à l'intérieur des deux serres, par rapport à leurs matériaux de revêtement. Cela ne fait que confirmer les derniers résultats présentés dans la figure 5.

Les résultats montrés dans la figure 7 ont présenté une différence hautement significative, avec un $P = 0.00015$ par rapport à un intervalle de confiance de 0.95. Par conséquent, on peut conclure que les deux variétés de tomate (Marmande et ACE 55 VF) ont poussé différemment dans les deux serres au cours de la période d'étude. Selon les résultats de la serre tri-couche, les variétés de tomates ont montré deux tendances d'évolution, une rapide et progressive de la première semaine à la troisième, et une lente à partir de la troisième à la neuvième semaine, avec une légère différence pour la variété Marmande. En fait, cette dernière a atteint une valeur de 47 ± 17.1 cm au cours de la huitième semaine en Juin. Cependant, au cours de la dernière semaine, une régression de longueur a été constatée pour la variété Marmande atteignant une valeur moyenne de 46.25 ± 17.4 cm. De plus, la variété ACE 55 VF a montré le même type de régression mais avec une moyenne de 50.3 ± 6.42 cm au cours de la dernière semaine.

Concernant la serre monocouche, l'évolution de la longueur de la tige de tomate a été progressive. Néanmoins, elle était constante et plus faible pour la variété Marmande que pour l'ACE 55 VF. Cette dernière a connu deux types de progressions différentes, une rapide de la première à la troisième semaine et une lente de la troisième à la dernière semaine. Contrairement à la serre tri-couche, il n'y a pas eu de réduction de longueur pour les deux variétés de tomate. La

longueur maximale atteinte par les deux variétés était d'environ 48.7 ± 4.3 cm pour l'ACE 55 VF et de $51,5 \pm 3$ cm pour la variété Marmande (Figure 7).

Le stress des plantes généré par des facteurs environnementaux et des applications culturales pourrait avoir des effets négatifs sur sa croissance et diminuer son rendement final. En fait, le taux d'allongement de la tige augmente généralement avec la température (Costa et Heuvelink, 2005). Cependant, un bon développement des plants de tomates doit se situer dans une plage optimale de températures diurnes entre 25 et 30 °C, avec une limite supérieure de 35 °C. Si la température dépasse cela, il y aura des effets sur la germination, les semis, le stade végétatif, la floraison et la nouaison (Miller et al., 2001). Dans une étude antérieure, Dodson et al. (2002) ont constaté qu'une croissance inégale, des échecs dans la nouaison et des maladies graves du feuillage peuvent être causés par des différences de température dans la même serre (Dodson et al., 2002). Selon les valeurs climatiques de cette étude actuelle, les températures moyennes hebdomadaires ont dépassé la limite, causant un stress majeur aux plants de tomates. En effet, le stress des plantes dû aux températures élevées pourrait se traduire par une diminution des échanges gazeux du fait de la réduction de la taille des stomates, et par conséquent, une réduction ou une inhibition complète du processus de photosynthèse (Chaves et al., 2003; De Pascale et al., 2007), qui est le processus le plus sensible à la chaleur chez les plantes (Camejo et al., 2005; Moretti et al., 2010). Cela pourrait expliquer la diminution de la hauteur de la tige au cours de la dernière semaine lorsque des températures extrêmes ont été observées. En effet, les parties les plus hautes des plants de tomates étaient complètement sèches et il n'y a pas eu de récupération après cela.

L'humidité relative est un facteur important de l'état de croissance des plantes car elle a un effet majeur sur l'efficacité des antagonistes contre les champignons pathogènes en termes de lutte biologique (Fargues et al., 2003). De plus, comprendre l'influence de l'humidité sur le développement et le rendement des cultures protectrices pourrait être un facteur important pour l'optimisation de la culture en serre (Holder et Cockshull, 1990). Costa et Heuvelink (2005) ont déclaré qu'une humidité élevée améliore l'allongement de la tige, bien que les effets soient très faibles (Costa et Heuvelink, 2005). La transpiration des plantes diminue lorsque l'humidité de l'air augmente et inversement aussi (Jones Jr, 1999). Les résultats montrent que l'humidité relative a été très faible et n'a jamais atteint la valeur optimale de 50 %. Cela est dû à la forte

évapotranspiration de la plante causée par des températures élevées. De plus, la sécheresse peut être très nocive pour les plantes, entraînant une inhibition de la croissance et un retard notable de la constitution normale du système reproducteur (Chaves et al., 2003). Jones (1999) a déclaré que l'intensité lumineuse optimale pour la croissance des plantes est d'environ 1400 Lumens, photopériode 14h (1 Lux = lumens m⁻²). En outre, il a considéré que, même si les plantes de tomates sont connues par leur besoin d'être cultivées en plein soleil, il arrive que leur meilleure condition de croissance soit lorsque les plants sont à l'abri d'un ensoleillement extrême (Jones Jr, 1999).

L'analyse de variance ANOVA établie pour montrer l'impact du film de couverture de serre sur la croissance des feuilles de tomate (Figure 8), a montré une différence non significative avec un P = 0.10 qui était supérieur à l'intervalle de confiance $\alpha = 0.05$. Il indique également une évolution accélérée de la variété Marmande de la première semaine à la septième pour atteindre une moyenne de 24 ± 9.3 feuilles sur dix pots au niveau de la serre tricouche. Le nombre de feuilles rechute par la suite, atteignant 16 ± 6.7 feuilles la semaine dernière. La seule explication raisonnable à cela est l'augmentation de la température au-dessus du seuil de 35 °C (figure 5). Les températures élevées peuvent affecter le processus photosynthétique en augmentant la température des feuilles, ce qui a un impact sur la conductance des stomates (Lloyd et Farquhar, 2008; Moretti et al., 2010). Elle peut être trente degrés au-dessus de la température de l'air dans la serre. De plus, le sol était presque constamment sec et il ne pouvait pas retenir la quantité d'eau d'irrigation qui lui a été donné chaque jour, même après que la quantité était doublée.

Les plants de tomates font face à la carence en eau en fermant les stomates ou en minimisant la surface foliaire de la canopée, ce qui diminue la croissance et la perte des feuilles plus âgées (Chaves et al., 2003; Snyder, 1992). Cela pourrait contribuer à économiser l'eau et permettre la redistribution des nutriments des vieilles feuilles aux plus jeunes ou à la tige (Chaves et al., 2003). De plus, il n'y a pas eu de récupération pour les plantes qui ont atteint le point de flétrissement continu parce que leurs tissus étaient complètement endommagés.

L'évolution du nombre de feuilles pour la variété ACE 55 VF a été faible et plus ou moins constante, ne dépassant pas 10.5 feuilles. De plus, il y a eu trop de laminage des feuilles pendant les périodes de chaleur extrême. Ce processus est expliqué par les travaux d'autres chercheurs qui ont déclaré que pour éviter les périodes dangereuses, les plantes ont tendance à modifier leur

processus physiologique et la position de leurs organes par le roulement des feuilles (Fernandez et Castrillo, 1999; Saglam et al., 2008). Les vieilles feuilles sèches ont été continuellement retirées des plants de tomates; ceci explique aussi la diminution du nombre de feuilles dans les résultats présentés. De plus, les feuilles jaunes ou malades devraient être enlevées des plants de tomates afin de contrôler le développement et la propagation des maladies (Amati et al., 2002).

Concernant la serre recouverte du film monocouche, le même type d'évolution du nombre de feuilles a été remarqué pour la variété Marmande que celui de la serre tri-couche (jusqu'à la septième semaine atteignant 23 ± 5.6 feuilles). Ensuite, le nombre de feuilles reste plus ou moins constant. L'évolution a été identique de la première à la quatrième semaine pour les deux variétés de tomate. La variété ACE 55 VF a toujours été celle avec le moins de feuilles. Elle a atteint 14.5 ± 4.4 feuilles au cours de la septième semaine après quoi, elle a diminué à 11.6 ± 4.8 feuilles au cours de la dernière semaine de l'expérience (figure 8).

Le matériau de couverture de serre affecte l'interception de la lumière par les plants de tomates et par conséquent la qualité de ses fruits en termes de teneur en phytonutriments (Dorais et al., 2008). L'interception de la lumière constitue un problème important de productivité de la plante. Dorais et coll. (2001) ont mentionné que la faible luminosité est considérée comme l'un des facteurs les plus limitants de la croissance et de la qualité des plantes. De plus, les interceptions des radiations solaires, ainsi que la production de photo-assimilats, sont réduites chaque fois qu'il y a une diminution de l'espace foliaire (Martins et al., 2018). Cela correspond aux résultats actuels concernant la variété de tomate ACE 55 VF qui a montré un nombre plus élevé de feuilles à l'intérieur de la serre monocouche par rapport à celui de la serre tri-couche. La variété Marmande n'a pas montré le même effet. De plus, la surface foliaire de la tomate augmente avec l'humidité, bien que l'effet puisse être très faible (Costa et Heuvelink, 2005). De plus, la surface foliaire pourrait être réduite jusqu'à 15 % en raison des carences en calcium causées par une humidité extrême (Holder et Cockshull, 1990).

Comme il a été mentionné précédemment, en raison de la chaleur extrême, l'humidité relative n'a jamais atteint le niveau optimal (50%) pour la croissance des plantes (Bakker, 1984). En effet, les valeurs les plus élevées enregistrées dans les serres tri-couche et monocouche étaient respectivement de 33 % et 21 %. La seule explication logique de la différence non significative

dans le développement des deux variétés de tomates sous les deux serres est la perte rapide d'un certain nombre de feuilles de la variété ACE 55 VF après 7 semaines d'étude expérimentale.

Au cours du mois de Juin, il y a eu une dégradation rapide et progressive du film monocouche. En effet, ses propriétés mécaniques ont considérablement diminué ce qui a conduit à sa rupture et a rendu la serre complètement dénudée à la fin du mois. Le film tri-couche n'a pas subi une dégradation aussi rapide et est resté pleinement fonctionnel (voir chapitre 3). Cela explique pourquoi les résultats du développement des plants de tomates (croissance de la tige et nombre de feuilles) n'ont pas été mentionnés par la suite.

La figure 9 montre que les plants de tomates ont donné un meilleur rendement en serre monocouche avec une moyenne total des deux variétés considérées de $6 \text{ kg} / \text{m}^2$ ($3.1 \text{ kg} / \text{m}^2$ pour la variété Marmande et $2.9 \text{ kg} / \text{m}^2$ pour la variété ACE 55 VF). La période de récolte était d'environ un mois (Juillet). La serre tri-couche a donné un rendement total de $4.3 \text{ Kg} / \text{m}^2$ ($2.3 \text{ Kg} / \text{m}^2$ pour la variété Marmande et $2 \text{ Kg} / \text{m}^2$ pour la variété ACE 55 VF). La récolte maximale pour la variété Marmande a eu lieu pendant la première semaine de Juillet, avec une valeur de $1.4 \text{ kg} / \text{m}^2$ pour la serre monocouche et également de $1.4 \text{ kg} / \text{m}^2$ pour la serre tri-couche. Pour la variété ACE 55 VF, la récolte la plus élevée a eu lieu au cours de la deuxième semaine avec une valeur de $1.4 \text{ kg} / \text{m}^2$ pour la serre monocouche et de $0.8 \text{ kg} / \text{m}^2$ pour la serre tri-couche. Le stress thermique est devenu un énorme problème pour le rendement des plantes partout dans le monde en raison de la mauvaise qualité des fruits qui en résultent. Des températures élevées peuvent diminuer la qualité du pollen, augmenter les anomalies florales et ainsi réduire le nombre de fruits (Dorais et al., 2001). Snyder (1992) a signalé que la pollinisation a besoin d'une température optimale comprise entre 70 et $82 \text{ }^\circ\text{F}$ (22 et $28 \text{ }^\circ\text{C}$) (Snyder, 1992). De plus, un stress hydrique sévère et continu pourrait fortement affecter le rendement final en termes de kilomètres par plante ou par hectare (De Pascale et al., 2007; Mitchell et al., 1991). Lorsque l'humidité relative est très faible ou inférieure à 60% , la stigmatisation des plants de tomates peut se dessécher complètement et à cause de cela, les grains de pollen ne pourront pas y adhérer. Le rendement diminue considérablement après de courtes périodes de carence en eau. Morgan (2003) a déclaré que le bon succès de tout processus de culture de la tomate est lié à la compréhension de la physiologie de la plante, depuis l'ensemencement jusqu'à la phase finale de développement (récolte). Il a en outre déclaré qu'il y avait eu des rendements en fruits supérieurs

à 50 kg/m², à l'époque où les rendements généraux en fruits étaient très faibles, de l'ordre de 10 à 20 kg/m² (Morgan, 2003). Le rendement obtenu des deux serres était encore plus faible que cela. C'est certainement lié à une exposition continue à des températures extrêmes

1.6. CONCLUSION

Dans ce travail, des alternatives pour augmenter le rendement de la production de tomates dans les zones semi-arides sont proposées. Bien que les films multicouches représentent une excellente découverte pour les serres, l'utilisation de LPDE monocouche et multicouche a présenté des différences concernant l'effet sur le rendement et la production de tomates. Malgré le fait que le film tri-couches soit résistant et que sa durée de vie soit très impertinente par rapport au film monocouche, cette étude a montré que le rendement de la production de tomates en serre recouverte par le film monocouche est meilleur que celui en serre couverte par le film à trois couches.

Chapitre 02 : Etude de la croissance et de la composition chimique des huiles essentielles d'Eucalyptus camaldulensis cultivées en serre différenciées par le film de couverture LDPE

2.1. CONTEXTE

Dans ce chapitre, nous élargissons notre intérêt à comprendre l'effet du film de couverture de serre sur la culture agricole.

Le but de cette étude était d'étudier l'impact du microclimat et de l'intensité lumineuse générée par le film de couverture de serre LDPE, sur la croissance et la production des huiles essentielles de l'*E.camaldulensis* cultivé. Des analyses GC-FID/MS ont en outre été effectuées afin de déterminer et de comparer la composition chimique et la teneur en composés des huiles essentielles extraites.

2.1.1. Présentation de l'*Eucalyptus camaldulensis*

Eucalyptus camaldulensis, également connu sous le nom de gommier rouge, est indigène en Australie, néanmoins, certaines de ses espèces sont endémiques des districts environnants (Aleksic Sabo et Knezevic, 2019 ; Carson et Hammer, 2010). Il fait partie de la famille des Myrtacées qui compte 3800 espèces et 140 genres (Ali et al., 2011). Le genre compte plus de 800 espèces plantées avec succès dans divers endroits du monde en raison de sa croissance rapide et de sa facilité d'adaptation à de nouveaux environnements (Coppen, 2002). Il se développe également au-dessus d'une grande variété de sols (Carson et Hammer, 2010). Par conséquent, il a été importé et planté dans différentes régions du monde telles que l'Amérique du Sud, la Californie du Sud, le Portugal, l'Espagne, l'Inde, l'Afrique, l'Asie et le sud de l'Europe (Carson et Hammer, 2010 ; Pirali-Kheirabadi et al., 2009). Plus de 300 espèces du genre eucalyptus contiennent des huiles volatiles à l'intérieur de leurs feuilles (Elaissi et al., 2012).

2.1.2. Description de l'arbre d'*Eucalyptus camaldulensis*

L'*Eucalyptus camaldulensis* pousse généralement au bord des rivières et peut vivre jusqu'à 1000 ans. Il a une haute tige unique et un grand tronc. Sa taille est de moyenne à élevée avec une valeur moyenne de 35 à 45 m (Aleksic Sabo et Knezevic, 2019). Généralement, ses arbres ont un feuillage persistant (B hagat et al., 2016). Les feuilles sont alternes, recourbées et souvent arquées, d'une longueur de 8 à 22 cm et d'une largeur de 1 à 2 cm. Le fruit constitue une capsule assez petite contenant des graines (Aleksic Sabo et Knezevic, 2019).

2.1.3. Huiles essentielles

2.1.3.1. Introduction des huiles essentielles

L'extraction d'huile essentielle est la première étape pour obtenir la combinaison brute de composés à partir de légumes (Aleksic Sabo et Knezevic, 2019). Les huiles essentielles sont des mélanges complexes et également des composés organiques secondaires qui sont extraits des plantes par un processus métabolique (Carson et Hammer, 2010). Elles sont volatils et ont des caractéristiques spécifiques, telles que l'odeur et l'arôme (Bhagat et al., 2016). Elles peuvent être extraites des feuilles, des fruits, des tiges, des fleurs et aussi des graines (Carson et Hammer, 2010). Elles constituent une petite partie de la composition totale de la plante (matière sèche), généralement environ 5 %. Les huiles essentielles sont principalement composées de terpènes hydrocarbonés et de terpénoïdes, qui sont des terpènes oxygénés (Asbahani et al., 2015).

2.1.3.2. Application des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont une grande importance dans de nombreux domaines tels que l'industrie et les recherches scientifiques en raison de leurs propriétés pharmaceutiques, de leurs activités physico-chimiques, biologiques et agricoles, en ce qui concerne l'environnement (Asbahani et al., 2015 ; Bhagat et al., 2016 ; Gakuubi , 2016) . Leur production est fortement affectée par les stress subis par la plante tels que les infections, les attaques parasitaires (Carson et Hammer, 2010), ou les conditions environnantes difficiles.

2.1.3.3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles peut être réalisée par différentes techniques, parmi lesquelles on peut citer :

2.1.3.3.1. Hydrodistillation

C'est la méthode standard avec pour objectif d'isoler les espèces chimiques de leur environnement naturel en les entraînant avec de la vapeur d'eau (Fadil et al., 2015). Cela consiste généralement à mettre de la matière végétale brute avec de l'eau dans un ballon qui est chauffé par le bas à une température assez élevée. La vapeur d'eau est ensuite conduite à travers une colonne de condensation de vapeur pour arriver à un décanteur, dans lequel les huiles essentielles sont séparées de l'eau, et enfin à un collecteur en verre pour recevoir l'extrait final (Asbahani et

al., 2015 ; Fadil et al. , 2015). L'appareil le plus courant pour ce type d'extraction est le Clevenger (Fadil et al., 2015).

Les inconvénients de cette procédure sont la forte consommation d'énergie, la température élevée et le temps prolongé requis pour l'extraction qui peuvent éventuellement provoquer des changements dans la composition chimique des huiles essentielles (Berka-Zougali et al., 2012). D'autre part, ce procédé d'extraction est plus abordable que les autres et de plus, l'eau est non miscible avec la plupart des molécules d'huiles essentielles et cela peut être un avantage, rendant l'extraction par hydrodistillation très fiable (Asbahani et al., 2015). La période prolongée de contact avec l'eau bouillante pourrait également créer une altération chimique des terpénoïdes et éventuellement modifier la polarisation des molécules (Asbahani et al., 2015).

2.1.3.3.2. Distillation à la vapeur

Cette méthode consiste à forcer l'entrée de vapeur dans un flacon contenant la matière végétale afin d'aider à la vaporisation des composés volatils des huiles essentielles (Carson et Hammer, 2010). Cette méthode se produit sans contact entre l'eau et la matière végétale et la période d'extraction est plus courte par rapport à l'hydrodistillation (Asbahani et al., 2015).

2.1.3.3.3. Distillation sous vide « vacuum distillation »

Contrairement à l'hydrodistillation, cette méthode ne nécessite pas de température élevée. Elle est réalisée à des températures réduites qui aident à maintenir la composition chimique de l'huile essentielle (Carson et Hammer, 2010).

2.1.3.3.4. Extraction par solvants organiques

Cette procédure d'extraction est assez simple mais comprend la perte d'une quantité importante de composés volatils et non volatils, entraînant un changement quantitatif et qualitatif de la composition chimique des huiles essentielles (Berka Zougali et al., 2012). Cette méthode consiste à éliminer le solvant de l'extrait collecté sous basse pression (Asbahani et al., 2015). Cependant, les solvants polluent le produit extrait et compromettent sa sécurité pour un usage pharmaceutique ou alimentaire et, par conséquent, cette méthode n'est pas considéré comme respectueuse de l'environnement (Asbahani et al., 2015).

2.1.3.3.5. Extraction par micro-ondes sans solvant

Cette méthode est basée sur l'association de la distillation sèche et de l'énergie de chauffage des micro-ondes, sans utiliser aucune quantité d'eau ou de solvant organique (Filly et al., 2014). Elle comprend la chute d'une pression de vapeur élevée sur la matière végétale fraîche permettant la séparation des huiles essentielles du noyau, par évaporation (Li et al., 2013). La méthode de chauffage par micro-ondes est économique, sûre, rapide, respectueuse de l'environnement et ne nécessite pas trop de consommation d'énergie (Berka-Zougali et al., 2012).

2.1.3.3.6. Extraction par fluide supercritique

Cette technique est considérée comme une méthode très efficace en raison de la qualité de ses résultats élevés, bien qu'il s'agisse d'une méthode coûteuse, ce qui la rend difficile d'accès (Berka-Zougali et al., 2012). Elle est réalisée en utilisant du CO₂ à une température et une pression spécifiques (Carson et Hammer, 2010). La saveur du produit extrait est égale à celle de la matière végétale fraîche (Asbahani et al., 2015). Elle est meilleure que l'hydrodistillation en termes d'efficacité et de durée de procédure (Carson et Hammer, 2010).

2.1.4. Les huiles essentielles de l'*Eucalyptus camaldulensis*

L'intérêt scientifique de l'huile essentielle d'eucalyptus sp. a augmenté sachant qu'elle est utilisée à des fins industrielles et de médecine populaire depuis des siècles. Elle a prouvé sa capacité en tant qu'agent antiseptique, anti-inflammatoire, antiprotozoaire, antifongique, antibactérien, antioxydant, antiviral et antimicrobien efficace (Aleksic Sabo et Knezevic, 2019). Les huiles essentielles d'eucalyptus peuvent également être utilisés comme anesthésiques (Carson et Hammer, 2010). Elles sont également reconnues comme ayant un effet gastro-intestinal et sont utilisées pour soigner les troubles respiratoires, les douleurs musculaires et dentaires (Aleksic Sabo et Knezevic, 2019). Les huiles d'eucalyptus peuvent également être utilisées pour soigner le rhume, la fièvre, la grippe et les problèmes de gorge en général (Aleksic Sabo et Knezevic, 2019). Selon Begum et al. (1997), les espèces d'eucalyptus ont la capacité de guérir la diarrhée, le paludisme et certaines maladies de la peau (Begum et al., 1997).

Les huiles essentielles d'eucalyptus ont également la capacité d'être incorporées dans des produits de soin de la peau (Huang et al., 2015), ainsi que d'être utilisées pour la préparation de déodorants et certaines de ses espèces sont même utilisées pour la parfumerie (Carson et Hammer, 2010). Elles sont également utilisées comme pesticides naturels en raison de leur effet

biologique sur les organismes vivants (Bakkali et al., 2008 ; Izakmehri et al., 2013). Ces espèces sont connues pour leur capacité à effectuer une inhibition chimique de la croissance des plantes, appelée allélopathie (Carson et Hammer, 2010). Grâce à ces diverses propriétés, la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus est assez particulière (Carson et Hammer, 2010). Les huiles essentielles d'eucalyptus peuvent également être utilisées comme aérosols dans le but de décontaminer l'air à l'intérieur des espaces médicaux (De Billerbeck, 2007).

2.2. OBJECTIFS

Les principaux objectifs de ce travail expérimental étaient les suivants :

- Etude de la croissance d'*Eucalyptus camaldulensis* vis-à-vis de sa serre de culture correspondante;
- Analyse par chromatographie en phase gazeuse et identification de la composition chimique des huiles essentielles extraites des feuilles d'*E. camaldulensis* ;
- Calcul de la teneur en composés présents dans les huiles essentielles d'*Eucalyptus camaldulensis* ;
- Comparaison des composés identifiés trouvés dans les huiles essentielles d'*E. camaldulensis* par rapport à leur serre de culture respectée ;
- Détermination de l'influence du film de couverture de serre sur la croissance, la composition et la concentration des composés chimiques des huiles essentielles d'*E. camaldulensis*.

2.3. MATERIELS ET METHODES

2.3.1 Zone d'étude

La culture en serre a été menée à l'Université Ibn Khaldoun (campus Karman), au niveau de la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de la ville de Tiaret, en Algérie. De plus, l'extraction et la caractérisation des huiles essentielles ont été réalisées au Laboratoire de Chimie, centre DBA, Faculté d'AGRONOMOS, Université de Lleida, Espagne.

2.3.2. Matériels

2.3.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude était les graines d'*Eucalyptus camaldulensis* fournies par la Direction Générale des Forêts (Tiaret, Algérie).

Afin d'effectuer l'extraction et la caractérisation des huiles essentielles, des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* ont été collectées séparément sur des arbres âgés de 14 semaines, en fonction de leur serre de culture (ordinaire, tricouche et monocouche). De plus, ces feuilles ont été séchées naturellement à l'ombre dans une pièce bien ventilée et non humide.

2.3.2.2. Équipement et réactifs

2.3.2.2.1. Equipment pour la serre de culture

Le matériel utilisé pour cette étude contenait :

- Films LDPE monocouches et tri-couches achetés auprès d'Agrofilm-Setif, Algérie ;
- Film LDPE commercial nommé ordinaire et acheté sur le marché de Tiaret en Algérie ;
- 180 sacs plastiques pour la culture d'eucalyptus ;
- Arrosoir de jardin;
- Multimetrix (Data logger DL53) pour mesurer la température et l'humidité relative ;
- Luxmètre pour mesurer l'intensité lumineuse ;
- Ordinateur portable.

2.3.2.2.2 Equipment and réactifs pour l'extraction et la caractérisation des huiles essentielles de l'*Eucalyptus camaldulensis*

- Un broyeur (A11 basic Analytical by IKA®) ;

- Appareils de type Clevenger pour la distillation à la vapeur (hydrodistillation);
- Etalons commerciaux ;
- Étalon interne n-Tridécane ;
- Solvants (hexane et éther diéthylique);
- Verrerie et matériel de laboratoire (tubes en verre, flacon, pipettes, etc.);
- Instrument GC-MS Agilent 19091S-433U ;
- Instrument GC-FID Agilent 7890A.

2.3.3. Méthodes

2.3.3.1. Installation et recouvrement des serres (voir le chapitre 01)

Les trois serres (ordinaires, à trois couches et monocouches) ont été prises en compte dans cette étude.

2.3.3.2. Culture en serre

Les graines d'*Eucalyptus camaldulensis* ont été cultivées dans des sacs de culture en plastique (60 sacs par serre) de 41 cm de hauteur et 21,5 cm de largeur préalablement remplis de 40 % de terre agricole et 60 % de boues résiduaires de la station d'épuration d'Aïn Buchekif-Tiaret (Algérie), afin d'améliorer la croissance des plantes (Leila et al., 2017).

L'opération d'ensemencement a été mise en place fin février 2017 comme suit :

- Les graines ont été déposées directement à la surface du sol de culture préparé et préalablement humidifié ;
- Huit graines ont été mises dans chaque sac en plastique ;
- Enfin, les graines ont été recouvertes d'une petite couche de sable fin, qui a également été soigneusement humidifiée afin de ne pas dénuder les graines.

Une distance de 30 cm a été laissée entre chaque plante. De plus, le nombre et la disposition des sacs en plastique étaient exactement les mêmes dans chaque serre. Finalement, les plantes ont été irriguées régulièrement et également.

La germination des graines a duré environ 4 semaines et une seule plante a été laissée dans chaque sac plastique afin de commencer la mesure des paramètres biométriques.



Fig.10. Vue générale montrant la disposition des sacs en plastique à l'intérieur de la serre monocouche

2.3.3.3. Mesures des paramètres climatiques et du flux lumineux

Les mesures de la température, de l'humidité et du flux lumineux ont été effectuées pendant la période de culture. Un Multimetrix (enregistreur de données DL53) a été utilisé quotidiennement pour déterminer le microclimat des serres, tel que la température de l'air et l'humidité relative. De plus, un luxmètre (AMPROBE LM-120) a été utilisé pour mesurer le flux lumineux entrant à l'intérieur des serres, à travers leurs films de couverture en LDPE.

Les capteurs ont été placés au centre des serres (au-dessus des plantes) lors de leur utilisation. Le processus de mesure a commencé juste après la germination des graines d'eucalyptus. De plus, les moyennes hebdomadaires des paramètres climatiques et de l'intensité lumineuse ont été calculées et comparées, à partir du 27 mars jusqu'au 9 juillet.

2.3.3.4. Mesure des paramètres biométriques

Les paramètres biométriques des plantes d'eucalyptus ont été mesurés du 8 mai au 5 Juillet. La procédure de mesure a été effectuée neuf fois (une fois par semaine) au cours de cette période d'étude. Le film monocouche a subi une forte dégradation mécanique et chimique et s'est complètement dégradé fin juin (voir chapitres 1 et 3), ce qui a contaminé les procédures. Les

paramètres étudiés étaient le nombre de feuilles, la longueur de la tige et le diamètre de la tige (inférieur et à mi-hauteur).

2.3.3.5. Extraction des huiles essentielles

Les feuilles récoltées des arbres *E.camaldulensis* ont été broyées à l'aide d'un broyeur A11 basic Analytical by IKA® (Figure 11)



Fig.11. Le processus de broyage des feuilles d'*E. camaldulensis*

L'extraction des huiles était réalisée par hydrodistillation, à l'aide d'un appareil de distillation à la vapeur appelé type Clevenger, visant à isoler les espèces chimiques de leur milieu naturel en les entraînant avec de la vapeur d'eau. Il se compose d'un ballon chauffant arrondi, associé à un tube compensateur de vapeur et à un collecteur en verre qui reçoit les extraits de la distillation (Fadil et al., 2015).

L'échantillon de départ était constitué de 60 g de feuilles broyées d'*Eucalyptus camaldulensis* avec 600 ml d'eau distillée. Quelques sphères de verre « microbilles » (réf : BEAD-006-1k0 6 mm, tolérance plus au moins 0,3) ont été ajoutées au mélange, dans le but de contrôler le processus d'ébullition lors de l'extraction.



Fig. 12. Préparation d'échantillons pour l'extraction d'huiles essentielles d'*E. camaldulensis*

Trois répétitions ont été faites pour chaque échantillon appartenant à la serre dans laquelle il a été cultivé, soit neuf extractions au total. Chaque extraction a été réalisée pendant environ 4 heures (Elaissi et al., 2012 ; Hamdi et al., 2015). Le processus d'ébullition des mélanges préparés a nécessité environ 30 à 40 minutes pour démarrer. De plus, le temps nécessaire pour que la vapeur commence à monter dans le tube et passe à travers le condenseur était d'environ 1h. Aucune huile n'a été obtenue avant au moins 1h et demie. Enfin, la quantité d'huile essentielle obtenue à partir de chaque extraction a été mesurée et stockée dans des flacons en verre scellés à -20°C jusqu'à son utilisation (Gakuubi, 2016).



Fig.13. Extraction de l'huile des feuilles d'*E. camaldulensis* à l'aide d'un appareil de type Clevenger

Le rendement final a été calculé en valeurs moyennes et les résultats sont mentionnés dans la section suivante.

2.3.3.6. Caractérisation des huiles essentielles

Des séries d'échantillons et de dilutions d'étalons ont été effectuées en utilisant les solvants hexane et éther diéthylique pour l'analyse chromatographique (GC). Douze standards commerciaux ont été préparés et injectés avec les échantillons d'huiles essentielles. Toutes les solutions contenaient l'étalon interne (Internal standard - IS), du n-tridécano (pureté à 99 %), acheté auprès de la société Acros organics, Espagne.

2.3.3.6.1. Préparation des solutions de solvants

2.3.3.6.1.1. Préparation de la solution (solvant + IS)

La préparation de la solution était la suivante :

- Peser 2,5 mg de n-Tridécano pur dans un bécher de 50 mL ;
- Ajout de 5 mL d'hexane ;
- Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 10 mL ;
- Rincer deux fois le bécher avec 10 mL d'hexane et l'ajouter dans la fiole jaugée ;
- Ajout du solvant hexane jusqu'à la marque stop ;
- Obtention de la solution A.



Fig.14. Standard interne n-Tridécano

2.3.3.6.1.2. Préparation de la solution (solvant + IS de 5 ppm)

Les étapes étaient les suivantes :

- Transférer 2 mL de solution A dans une fiole jaugée de 100 mL ;
- Ajouter 40 mL d'hexane/éther diéthylique 9:1 dans la fiole jaugée ;

- Remplir la fiole jaugée avec les solvants hexane/éther diéthylique 9:1 jusqu'au la marque stop ;
- Obtention de la solution B.

2.3.3.6.1.3. Préparation de la solution (solvant + IS de 10 ppm)

Les étapes suivies pour cette préparation de solution étaient :

- Transférer 2 mL de solution A dans une fiole jaugée de 50 mL ;
- Ajouter 40 mL d'hexane/éther diéthylique 9:1 dans la fiole jaugée ;
- Remplir la fiole jaugée avec 50 mL d'hexane/éther diéthylique 9:1 jusqu'au stop ;
- Obtention de la solution C.

Toutes les solutions préparées ont été conservées dans des flacons en verre et conservées au réfrigérateur jusqu'à utilisation ultérieure.

2.3.3.6.2. Préparation des échantillons pour les analyses GC-MS

Les échantillons (huiles essentielles) injectés dans l'équipement GC-MS ont été préparés selon les étapes suivantes :

- Un volume de 1 mL de la solution A (solvant + IS de 5 ppm) a été ajouté à l'huile essentielle extraite ;
- 10 L ont été prélevés de la solution précédente et 990 L de solution A y ont été ajoutés ;
- 10 L de volume ont été prélevés dans la deuxième solution et 990 L supplémentaires de la solution standard A y ont été ajoutés, créant la solution finale à injecter dans le système GC ;
- Trois répétitions ont été faites pour chaque échantillon d'huile essentielle, selon la serre (ordinaire, tricouche ou monocouche) de culture d'*E. camaldulensis*.

Les échantillons préparés ont été stockés dans des flacons GC scellés et conservés au congélateur jusqu'à leur utilisation.

2.3.3.6.3. Préparation des échantillons pour les analyses GC-FID

La préparation des échantillons pour l'analyse chromatographique s'est déroulée comme suit :

- Ajout de 1 mL de solvant + IS de 5 ppm à l'huile essentielle extraite des feuilles d'*E. camaldulensis* ;
- Prélèvement de 20 µL du mélange précédent ;
- Ajout de 980 µL de la solution A (solvant + IS de 5 ppm) ;
- Transférer le mélange dans les flacons GC ;
- Répéter les opérations précédentes pour chaque échantillon (3 répétitions), selon sa serre de culture (ordinaire, tricouche et monocouche).

2.3.3.6.4. Préparation des étalons commerciaux

Les étalons commerciaux sont présentés dans le tableau 1, selon leurs degrés de pureté et les sociétés auprès desquelles ils ont été achetés.

Tableau 1: Origines et degrés de pureté des étalons commerciaux

Standard	Pureté (%)	Campanie
α -Pinene	99	Sigma-Aldrich
β -Myrcene	80	Carinsa
β -Pinene	99	Aldrich
α -Phellandrene	99	Carinsa
p-Cymene	98	Carinsa
d-Limonene	98	Carinsa
Eucalyptol (1,8-cineol)	99	Acros-organics
Linalool	96	Carinsa
Terpinen-04-ol	97	Acros-organics
α - Terpineol	60 - 70	Carinsa
Geraniol/cis-Geraniol	59/41	Carinsa
Farnesol	96	Carinsa

Pour les analyses GC, un premier volume a été prélevé dans les solutions mères (étalons commerciaux purs) et a été mis dans des fioles graduées afin de déterminer le volume à prélever de la solution mère et préparer les solutions diluées en concentration 1000 ppm. Les résultats sont mentionnés dans le tableau 2.

Tableau 2: Détermination du volume à prélever de la solution mère pour préparer la solution étalon diluée à une concentration de 1000 ppm

Standard	Volume initial de la solution mère (mg)	Concentration de la solution mère (ppm)	Volume (mL) à prélever de la solution mère pour préparer la solution diluée à une concentration de 1000 ppm
α -Pinene	44.5	4405.5	2.27
β -Pinene	39.7	3930.3	2.54
β -Myrcene	18.1	1448	6.9
α -Phellandrene	33.4	3306.6	3
p-Cymene	29.3	2021.7	3.5
d-Limonene	30.1	2949.8	3.4
Eucalyptol	49.1	4860.9	2.06
Linalool	27	2592	3.5
Terpinene-4-oL	43.7	4240	2.35
α -Terpineol	24.2	1573	6.36
Geraniol	38.8	2289.2	4.36
Farnesol	29.8	2860.8	3.5

La figure 15 montre le travail de laboratoire lors de la préparation des solutions étalons à un taux de concentration de 1000 ppm.

**Fig.15.** Préparation des étalons commerciaux en concentration 1000 ppm

La concentration des étalons a été calculée en ppm et le volume requis pour la concentration de 1000 ppm a été estimé selon la formule suivante :

$$\text{Volume de solution mère (mg)} \times (\text{degré de pureté standard \%} / 100 \%)$$

Exemple de calcul de la concentration en eucalyptol :

$$41.\text{mg} \times (99 \% / 100 \%) = 48,609 \text{ mg}$$

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/kg}$$

$$48,609 / 0,01 = 4860,9 \text{ ppm}$$

Calcul de la concentration en eucalyptol en 1000 ppm :

$$X = ((0,01 \text{ L}) \times 1\,000 \text{ ppm}) / 4\,860,9 \text{ ppm} = 0,002 \text{ L} = 2,06 \text{ mL}$$

2.3.3.6.4.1. Préparation des étalons en concentration de 1000 ppm

Après avoir effectué les calculs précédents, la préparation des étalons en concentration de 1000 ppm était la suivante :

- Mettre le volume requis de chaque étalon dans une fiole jaugée de 10 mL de volume ;
- Ajout des solvants hexane/éther diéthylique 9:1 jusqu'au repère d'arrêt ;
- Répéter cette opération pour tous les étalons commerciaux ;
- Placer les solutions étalons préparées au congélateur jusqu'à utilisation ultérieure.

2.3.3.6.4.2. Préparation des étalons en concentration de 500 ppm

500µl d'étalon (1000 ppm)



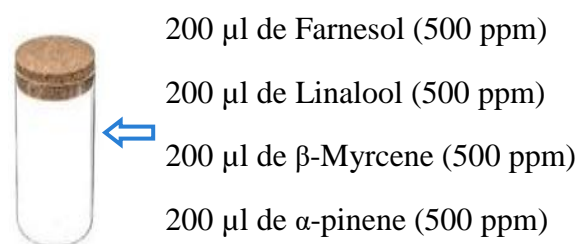
500µl de (solvant + IS de 10ppm)

2.3.3.6.4.3. Préparation des étalons en concentration de 125 ppm

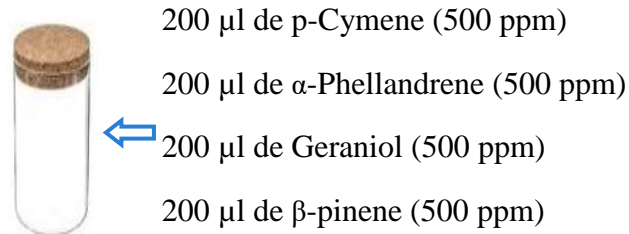
Les douze standards commerciaux ont été séparés en 4 groupes afin d'être injectés dans le système GC.

- Groupe A : Farnesol + Linalol + -Myrcène + α -Pinène.
- Groupe B : p-cymène + α -phellandrène + géraniol + -pinène.
- Groupe C : α -terpinéol + d-limonène
- Groupe D : Eucalyptol + Terpinen-04-ol.

Pour les groupes A et B, la procédure était la suivante :

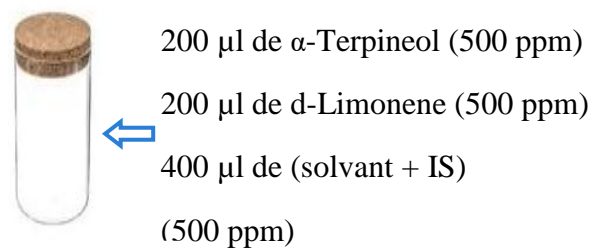


Groupe A

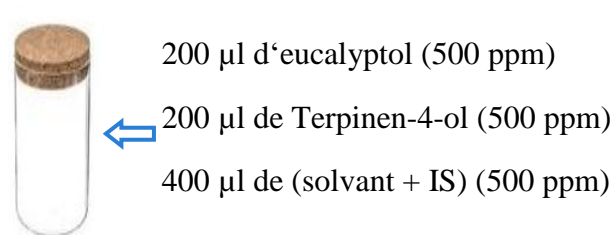


Groupe B

For the groups C and D:



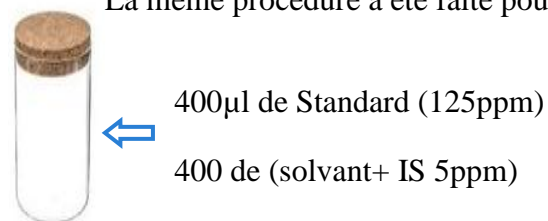
Groupe C



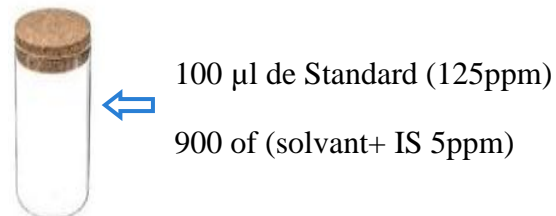
Groupe D

2.3.3.6.4.4. Préparation des étalons en concentration 65,25 ppm

La même procédure a été faite pour tous les groupes de standards



2.3.3.6.4.5. Préparation des étalons en concentration 12.5 ppm



2.3.3.6.4.6. Préparation des étalons en concentration 61.25 ppm



100 µl de Standard (61.25 ppm)



900 de (solvant+ IS 5ppm)

2.3.3.6.4.6. Préparation des étalons en concentration 6.12 ppm



100 µl de Standard (6.12 ppm)



900 de (solvant+ IS 5ppm)

Toutes les solutions d'étalons préparées ont été conservées au congélateur à -20 °C et injectées ensuite avec les échantillons d'huiles essentielles dans les systèmes GC. Seules les cinq concentrations les plus faibles (125 ; 61,25 ; 12,5 ; 6,12 ; et 0,612) de chaque groupe d'étalons ont été injectées.

2.3.3.7. Rendement de l'huile de feuille d'*E. camaldulensis*

Le rendement de l'huile essentielle extraite d'*E. camaldulensis* a été estimé en grammes initialement. De plus, les rendements moyens finaux de 3 répétitions d'échantillons ont été calculés et estimés en pourcentage, en fonction de la serre de culture et de l'échantillon de départ (60 g).

2.3.3.8. Analyse GC-MS

L'analyse chromatographique a été établie afin d'identifier les composés organiques volatils trouvés dans les feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis*. Elle a été réalisée en utilisant la méthode Volatiles-Screening-Liquid avec l'instrument Agilent 19091S-433U.

L'identification des composés a été réalisée à l'aide de leurs spectres de masse en les comparant à ceux collectés dans la base de données Libraires Wiley7n.L et NIST11.L (Hamdi et al., 2015; Harkat-Madouri et al., 2015). Les temps de rétention des composés ont également été utilisés pour confirmer leur identification (Ben Hassine et al., 2010).

2.3.3.9. Analyse GC-FID

L'instrument utilisé pour quantifier les composés identifiés était un GC-FID, type Agilent 7890A, fonctionnant avec la même méthode (méthode SC-Liquid) que celle utilisée dans la GC-MS. Cet équipement a été utilisé afin de faciliter la quantification des composés dont les étalons étaient disponibles.

2.3.3.10. Quantification des composés organiques volatils trouvés dans l'huile essentielle d'*Eucalyptus camaldulensis*

Des présentations graphiques basées sur le type de nuage de points ont été réalisées pour chaque groupe d'étalons afin de déterminer la teneur en composés dans l'huile essentielle de feuilles d'*E. Camaldulensis*. Ces graphiques ont été réalisés de manière à étudier la relation entre les aires (area/zone) (à partir des chromatogrammes résultants) de chaque étalon en fonction de son taux de concentration en ppm. Chaque zone standard donnée a été divisée sur la zone standard interne.

La détermination de la teneur en composés dans chaque échantillon d'huile essentielle d'*E. camaldulensis* a été réalisée en utilisant les équations ($y = ax + b$) des courbes d'étalonnage linéaire. Le coefficient de détermination R^2 est également mentionné dans les graphiques.

La teneur en composés a été calculée en utilisant l'équation suivante:

$$((\text{zone du composé} / \text{zone de l'étalon interne} \times 1000) + b) / a$$

La teneur en composé est estimée en mg/g, en fonction de l'échantillon de départ qui représente le rendement résultant de l'extraction de chaque échantillon.

2.3.3.11. Analyse statistique

Le logiciel Statistica 8.0 a été utilisé pour effectuer une analyse ANOVA factorielle afin d'étudier l'effet du film de couverture de serre en LDPE sur la croissance d'*E. camaldulensis* et la teneur en composés des huiles essentielles présentes dans les feuilles d'*E. camaldulensis*.

2.4. RESULTATS

2.4.1. Comparaison hebdomadaire des paramètres climatiques et du flux lumineux pour une période de 14 mois

Les figures suivantes montrent une comparaison des paramètres climatiques (température et humidité relative) ainsi que le flux lumineux au niveau des serres de culture, en tenant compte de leurs films de couverture respectifs. La durée de cette étude comparative était de 14 mois (du 27 Mars au 9 Juillet). La figure 16 représente une comparaison des films multicouches (ordinaire et tri-couche) tandis que la figure 17 ne concerne que la serre monocouche.

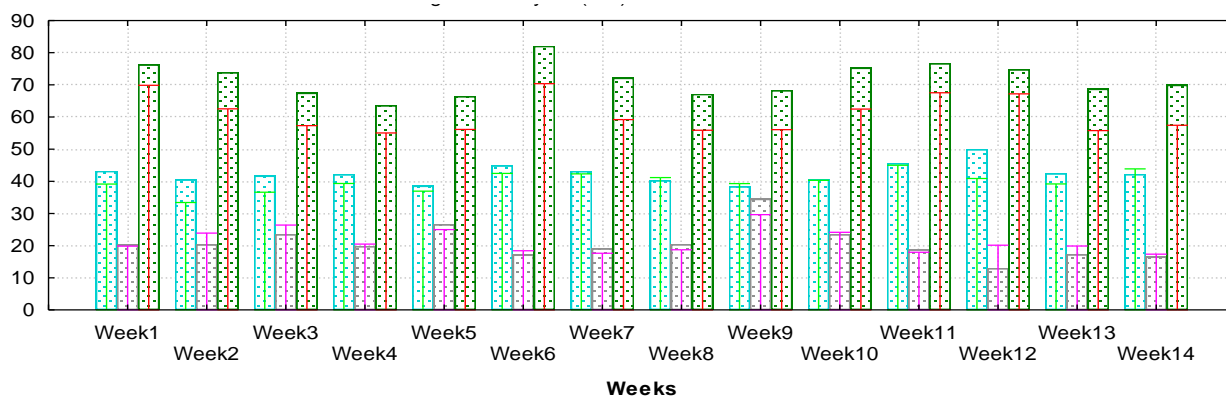


Fig. 16. Bar / Colonne Graphique de plusieurs variables montrant la comparaison de l'effet du film de couverture multicouche sur les paramètres climatiques et l'intensité lumineuse à l'intérieur des serres.

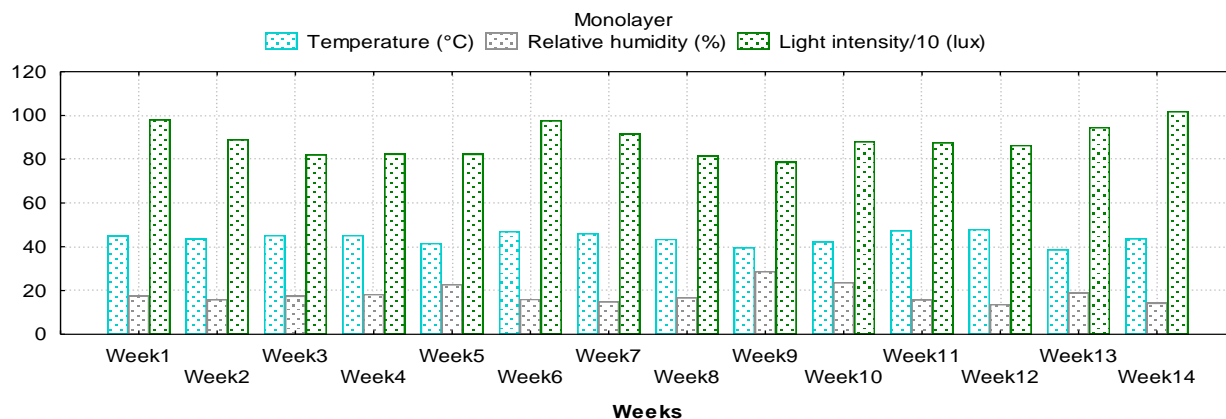


Fig. 17. Bar / Colonne Graphique de plusieurs variables montrant l'effet du film de couverture monocouche de serre sur les paramètres climatiques et l'intensité lumineuse.

2.4.2. Comparaison des paramètres de croissance de l'*Eucalyptus camaldulensis*

La croissance des plantes d'*Eucalyptus camaldulensis* a été étudiée pendant une période de deux mois (4 fois par mois) et une semaine, du 8 mai au 5 Juillet pour les films ordinaire et tri-couche (figures 18 et 19). La mesure de la croissance des plantes *E. camaldulensis* cultivées à l'intérieur de la serre couverte par le film monocouche n'a pas été prise en compte pour la première semaine de Juillet. Cela était dû à la dégradation complète de ce matériau de revêtement en PE-BE.

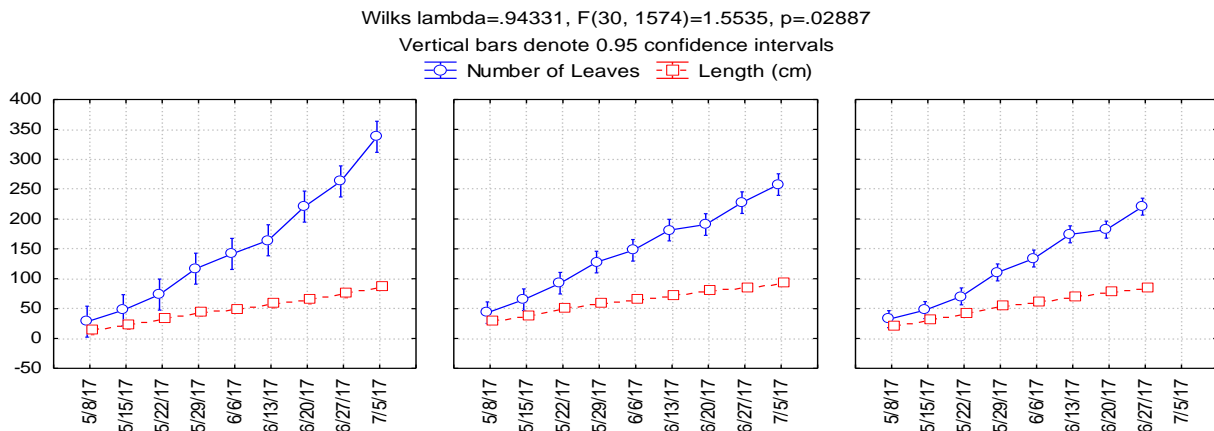


Fig.18. Étude de la croissance (hauteur de la plante et nombre de feuilles) d'*Eucalyptus camaldulensis* en fonction du temps et du type de film de couverture de serre

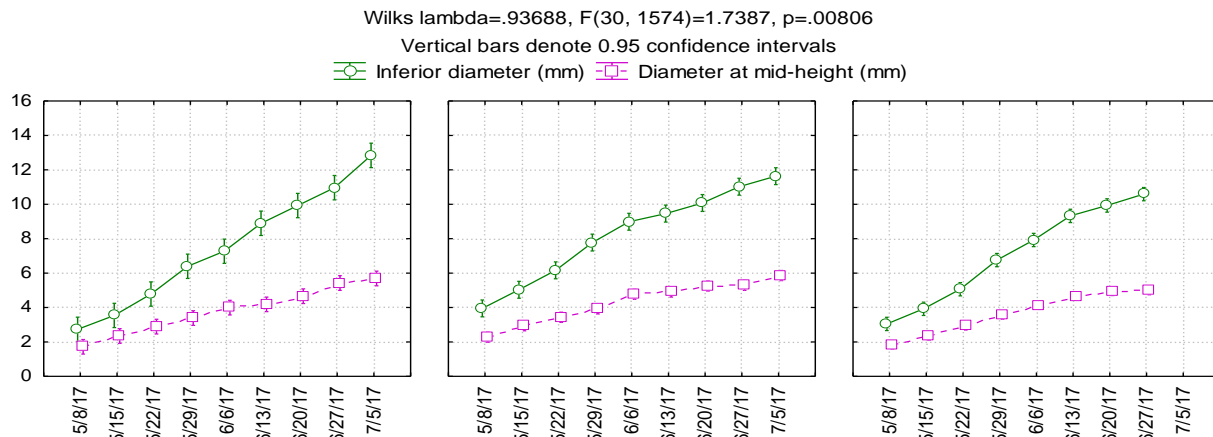


Fig.19. Analyse de la croissance en diamètre d'*Eucalyptus camaldulensis* en fonction du temps et du type de film de couverture de serre

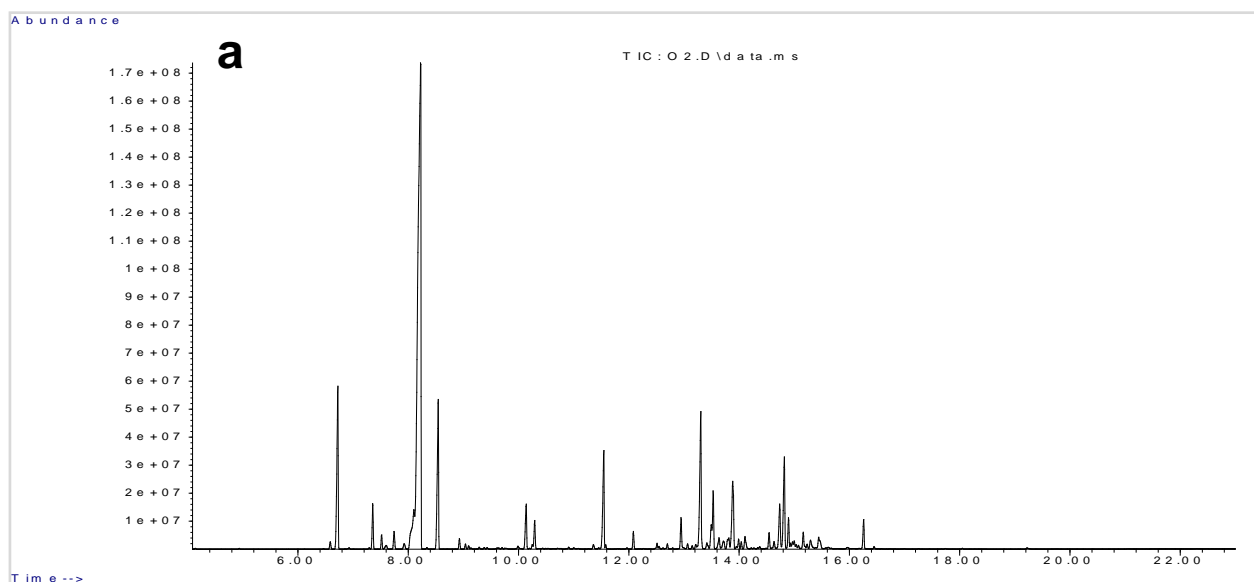
2.4.3. Rendement des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis*

Les différents rendements d'huile essentielle extraite des feuilles d'*E. camaldulensis* ont été mesurés en grammes et les valeurs moyennes étaient respectivement d'environ 0,0057 g, 0,0623 g et 0,0620 g pour les serres ordinaires, tri-couches et monocouches.

2.4.4. Analyse chromatographique et composition des huiles essentielles de l'*Eucalyptus camaldulensis*

2.4.4.1. Identification des composés

Les chromatogrammes obtenus à partir des injections d'échantillons dans l'équipement GC-MS sont présentés dans la figure 20.



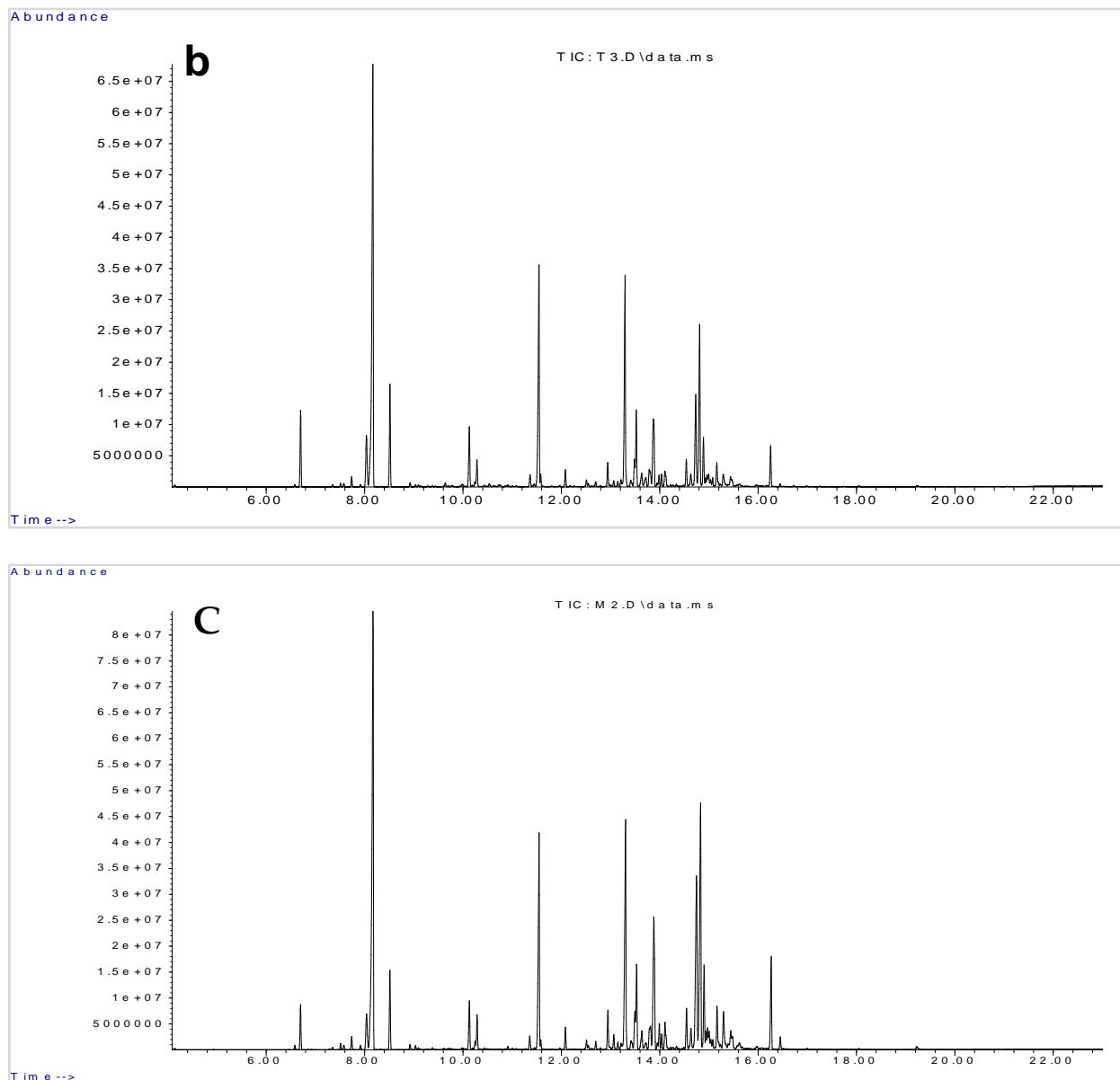


Fig.20. Chromatographie en phase gazeuse des huiles essentielles de feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* cultivées dans les différentes serres (a : ordinaire, b : tricouche, et c : monocouche)

Soixante-six produits chimiques ont été identifiés au total dans l'huile essentielle extraite des feuilles d'*E. Camaldulensis*. Les résultats sont indiqués dans le tableau 3.

Tableau 3. Composition chimique des huiles essentielles de l'*Eucalyptus camaldulensis*

Compounds	CAS Number	Compounds	CAS Number
(-)- α -Thujene	28634-89-1	Piperitone	89-81-6
α -Pinene	80-56-8	Phellandral	21391-98-0
Camphene	79-92-5	Carvacol	499-75-2
Sabinene	3387-41-5	Elixene/ γ -Elemene	490377
β -Pinene	127-91-3	(-)-Isoledene	1000156-10-8
β -Myrcene	123-35-3	α -Copaene	3856-25-5
α -Phellandrene	99-83-2	β -Elemene	515-13-9
(+)-4-Carene	29050-33-7	α -Gurjunene	489-40-7
<i>p</i> -Cymene	99-87-6	Caryophyllene	87-44-5
Eucalyptol	470-82-6	γ -Maaliene	20071-49-2
<i>trans</i> - β -Ocimene	13877-91-3	β -Gurjunene/clarene	17334-55-3
γ -Terpinene	99-85-4	Aromandendrene	489-39-4
Terpinolene	586-62-9	ι -Gurjunene	489-40-7
Linalool	78-70-6	Alloaromadendrene	25246-27-9
Fenchol	1632-73-1	Cubenene	29837-12-5
<i>trans</i> -1-Methyl-4-(1-methylethyl)-2-cyclohexen-1-ol	29803-81-4	β -Selinene	17066-67-0
Alloocimene	673-84-7	β -Panasinsene	1000159-39-0
<i>cis</i> -1-Methyl-4-(1-methylethyl)-2-cyclohexen-1-ol	29803-82-5	Ledene/Viridiflorene	21747-46-6
<i>trans</i> -Pinocarveol	547-61-5	α -Amorphene	483-75-0
Pinocarvone	19890-00-7	δ -Cadinene	483-76-1
Isoborneol	124-76-5	α -Calacorene	21391-99-1
Terpinen-4-ol	20126-76-5	Valencene	997297
<i>p</i> -Cymene-8-ol	1197-01-9	Epiglobulol	1000150-05-1
Cryptone	500-02-7	γ -Gurjene	22567-17-5
α -Terpineol	98-55-5	(+) Spathulenol	77171-55-2
<i>trans</i> -Piperitol	16721-39-4	Globulol	489-41-8
2-Methyl- 5-(monoepoxide 1-methylethyl)-1,3-cyclohexadiene,	72138-69-3	Viridiflorol	552-02-3
<i>cis</i> -Piperitol	16721-38-3	Ledol	577-27-5
<i>trans</i> -Carveol	1197-07-5	γ -Eudesmol	1000374-18-5
<i>cis</i> -Geraniol (Nerol)	106-25-2	Isopatchoulene	000-00-0
Cuminaldehyde	122-03-2	β -Eudesmol	473-15-4
D-Carvone	2244-16-8	Farnesol 2	4602-84-0
Geraniol	106-24-2	Phytol	150-86-7

CAS: CAS registry number

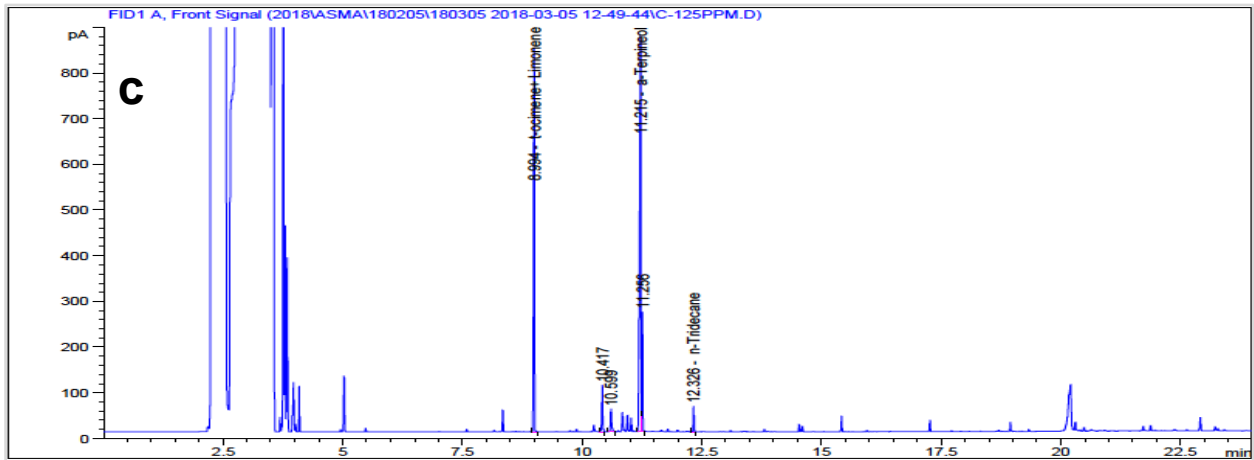
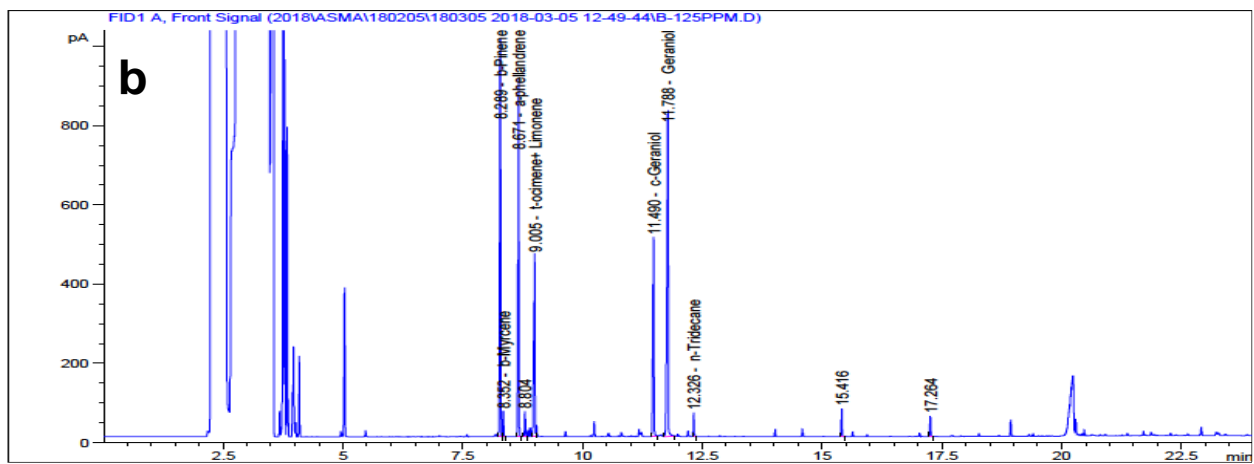
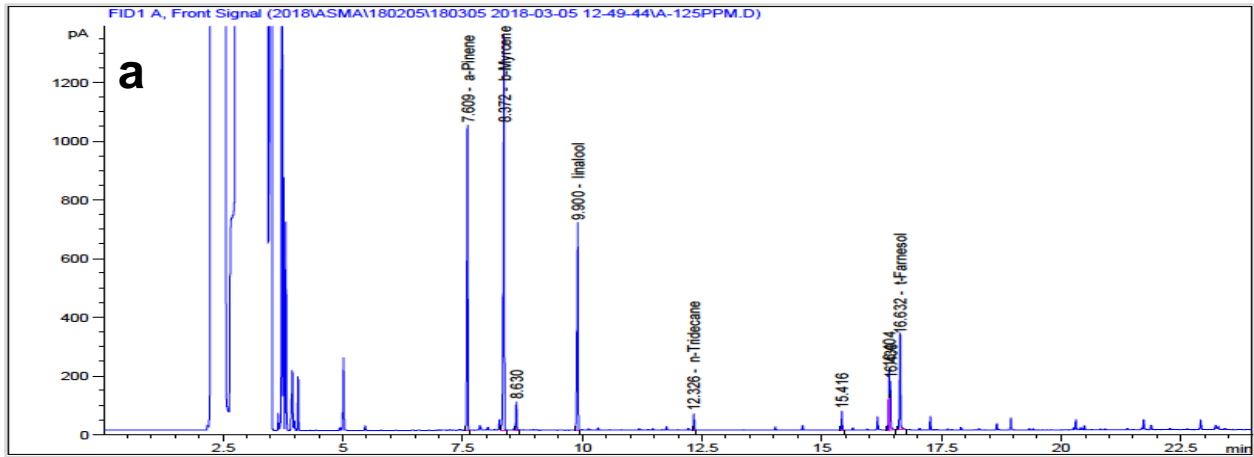
Les pourcentages de rapport relatif des composés chimiques trouvés dans les feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* ont été calculés en utilisant l'aire de pic GC de chaque composé et en la divisant par l'aire de pic de l'étalon interne n-Tridécan. Seuls les composés majeurs et ceux dont les standards commerciaux étaient disponibles sont mentionnés (tableau 4).

Tableau 4. Comparison of the relative average percentages of the chemical compounds found in the essential oils of *Eucalyptus camaldulensis* cultivated under the ordinary, three-layer and monolayer greenhouses.

Compounds	Average %		
	Ordinary	Three-layers	Monolayer
α -Pinene	2.911	3.060	1.434
β -Pinene	0.752	0.085	0.093
β -Myrcene	0.230	0.145	0.240
α -Phellandrene	0.314	0.388	0.539
<i>p</i> -Cymene	1.588	3.254	2.263
Eucalyptol	72.718	53.214	24.260
γ -Terpinene	2.988	3.671	3.183
Linalool	0.086	0.060	0.143
Terpinene-4-ol	0.911	1.748	1.777
α -Terpineol	0.599	0.748	1.023
Geraniol	0.032	0.037	0.059
α -Gurjunene	0.499	0.587	1.216
Aromadendrene	2.655	5.692	8.796
Alloaromadendrene	0.920	1.790	2.600
Viridiflorene/ledene	1.724	2.654	6.330
Epiglobulol	0.295	0.665	1.167
Spathulenol	0.940	2.693	7.304
Globulol	1.871	4.344	8.247
Viridiflorol	0.488	1.128	2.110
Isopatchoulene	0.242	0.528	1.480

2.4.4.2. Détermination de la teneur en composés dans l'huile essentielle d'*E. camaldulensis*

Les chromatogrammes résultants des groupes d'injection d'étalons dans le système GC-FID sont présentés sur la figure 21. Seul le taux de concentration de 125 ppm est présenté.



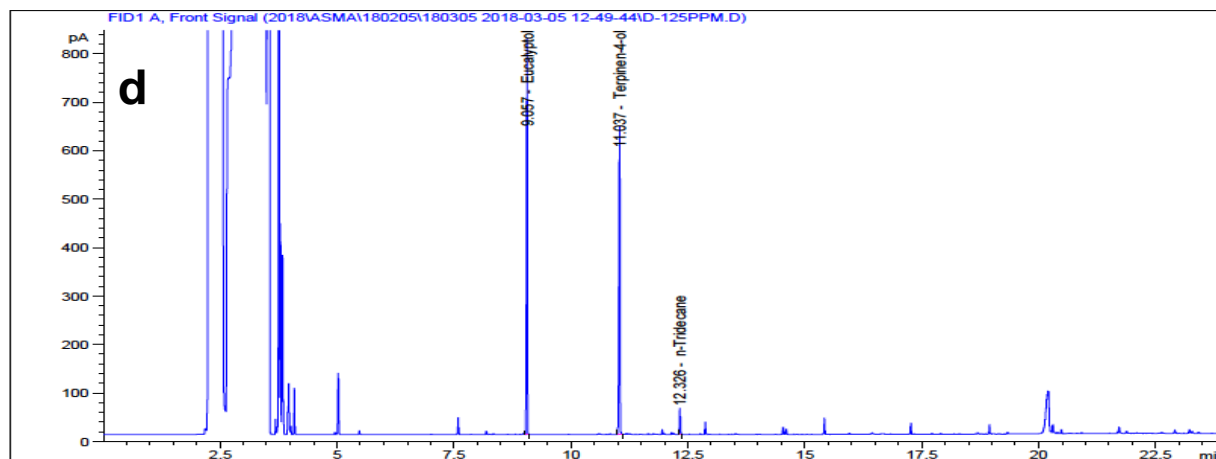
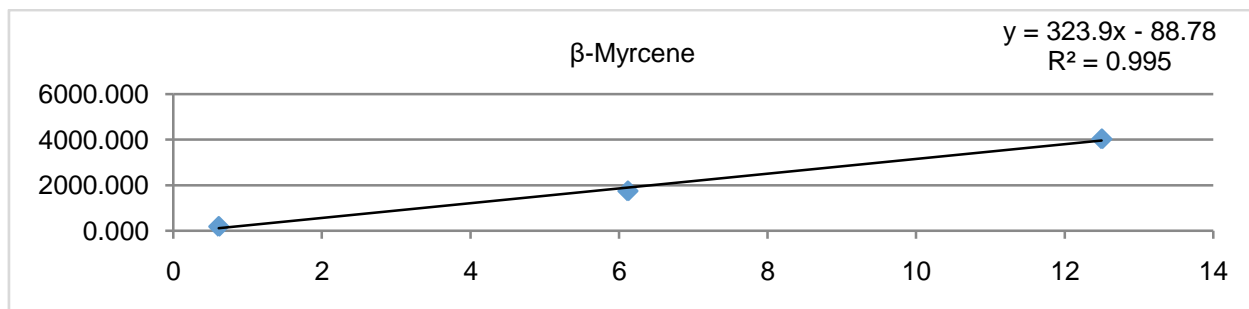
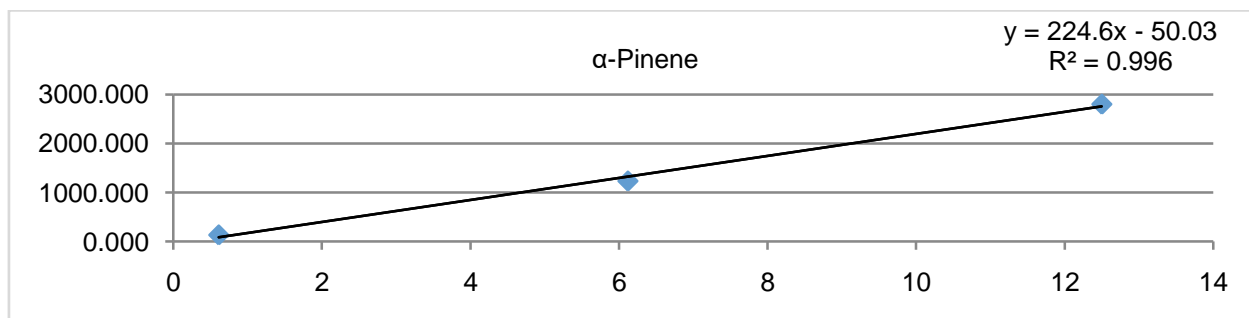


Fig.21. Chromatographie GC-FID des différents groupes d'étalons avec un taux de concentration de 125 ppm (a : groupe A ; b : groupe b ; c : groupe C ; et d : groupe D)

Des graphiques de type nuage de points ainsi que les courbes d'étalonnage linéaire des différents groupes d'étalons (A, B, C et D) sont présentés dans les figures 22, 23, 24 et 25, respectivement.



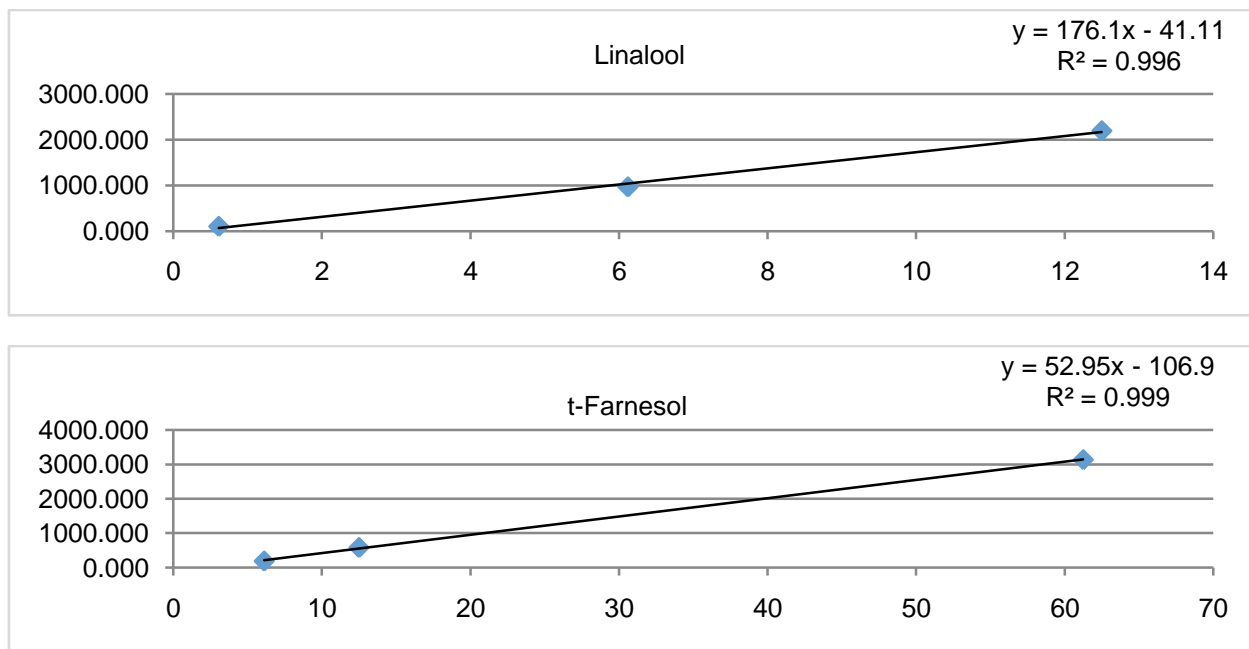
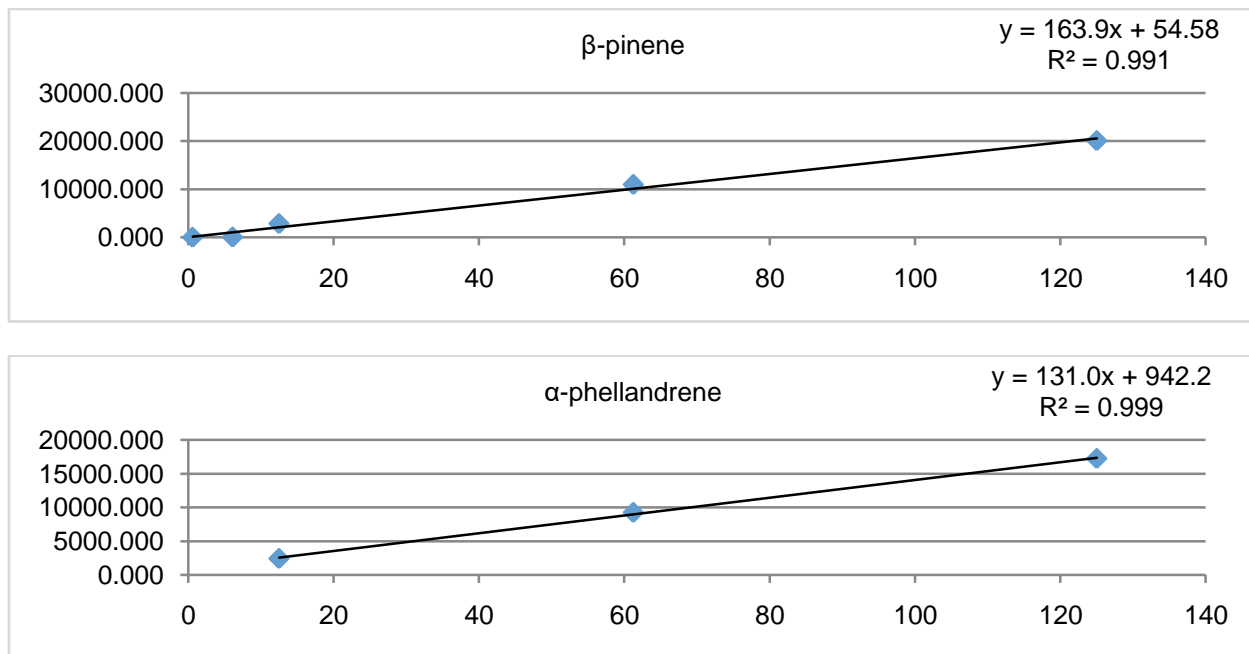


Fig.22. Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe A



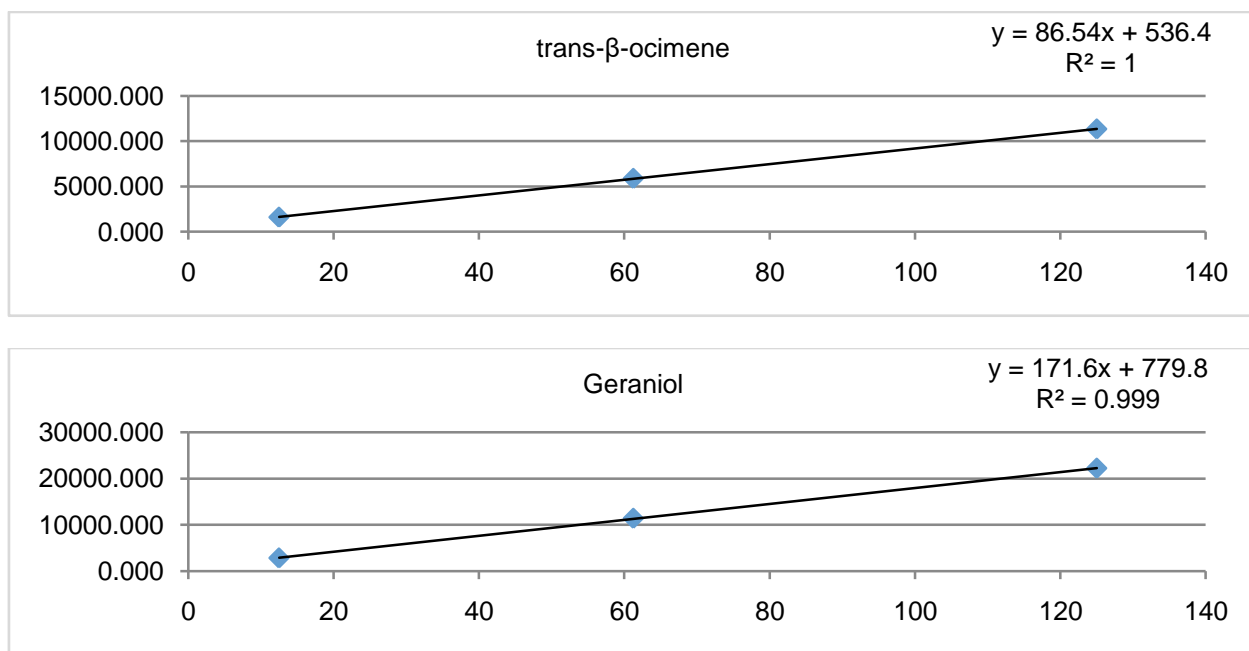


Fig.23. Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe B

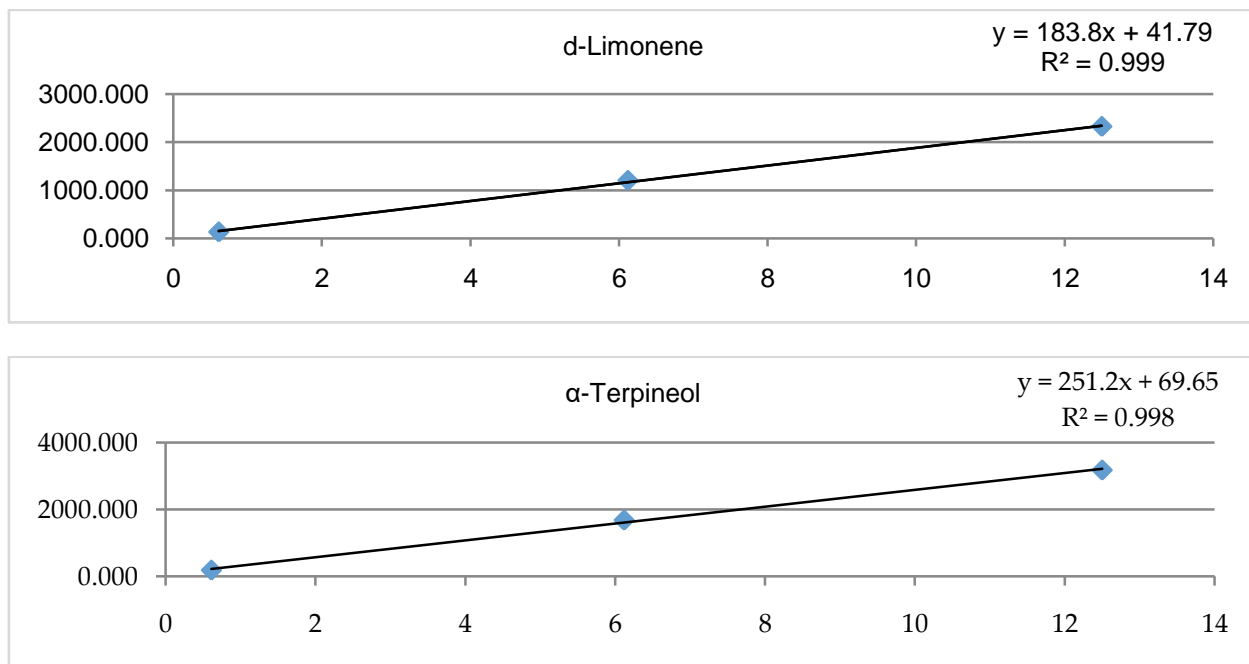


Fig.24. Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe C

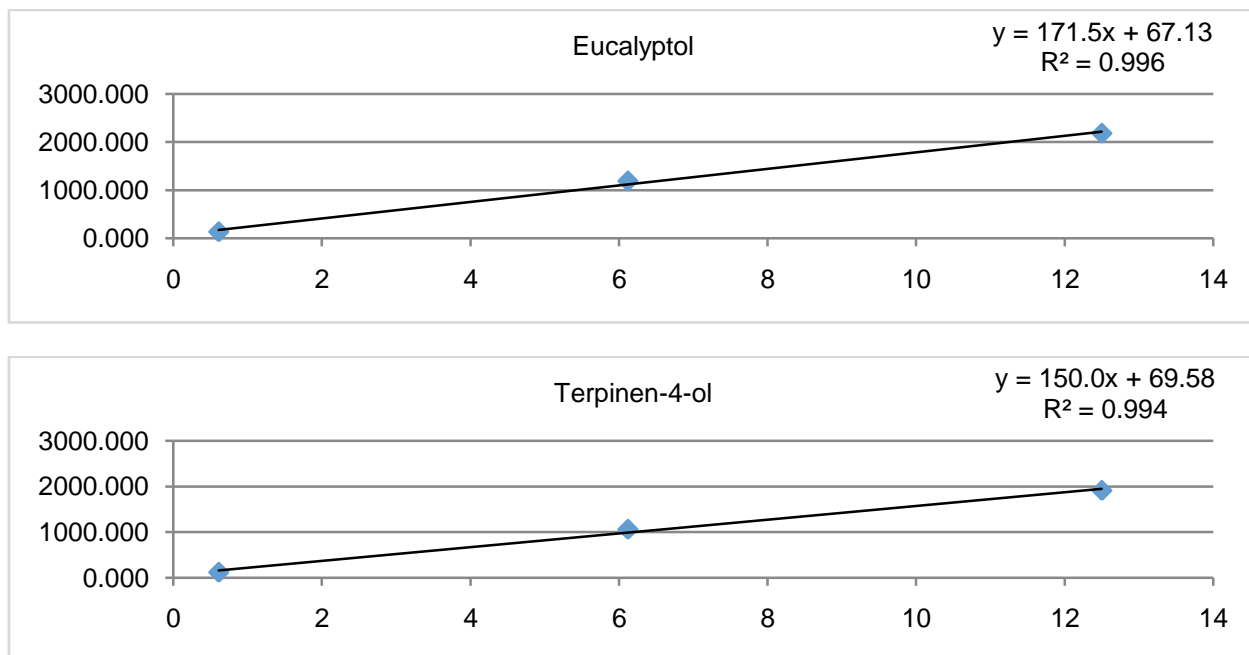
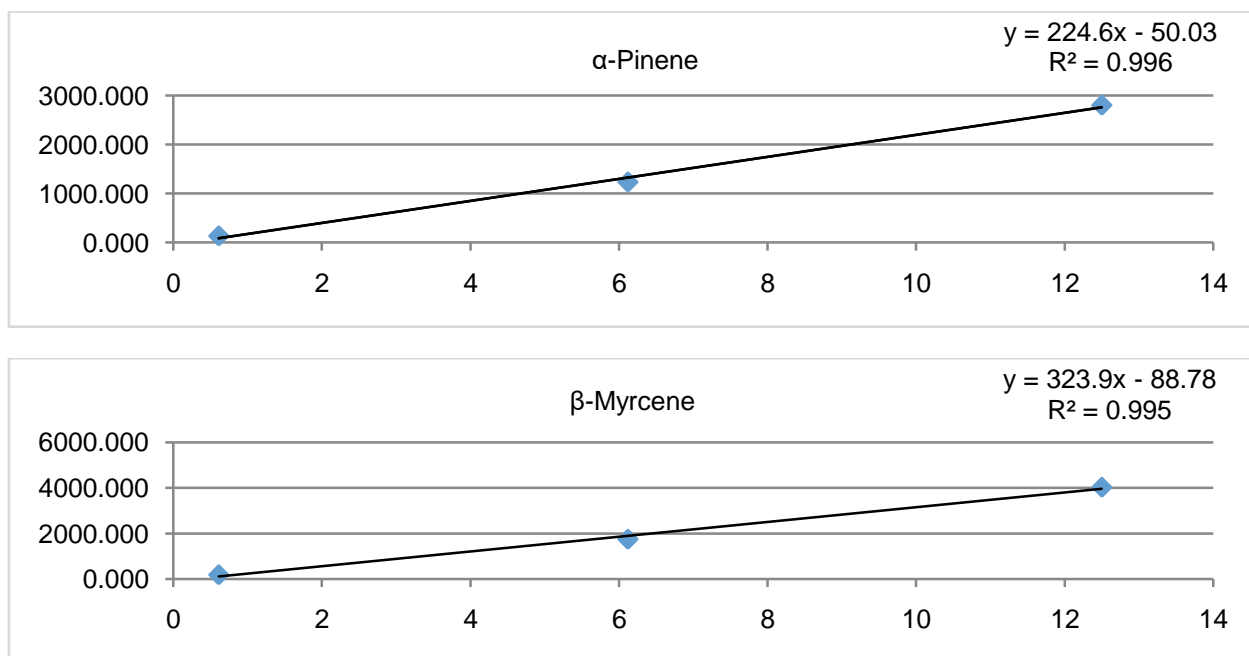


Fig.25. Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe D

Des graphiques de type nuage de points ainsi que les courbes d'étalonnage linéaires des différents groupes d'étalons (A, B, C et D) sont présentés sur les figures 26, 27, 28 et 29, respectivement.



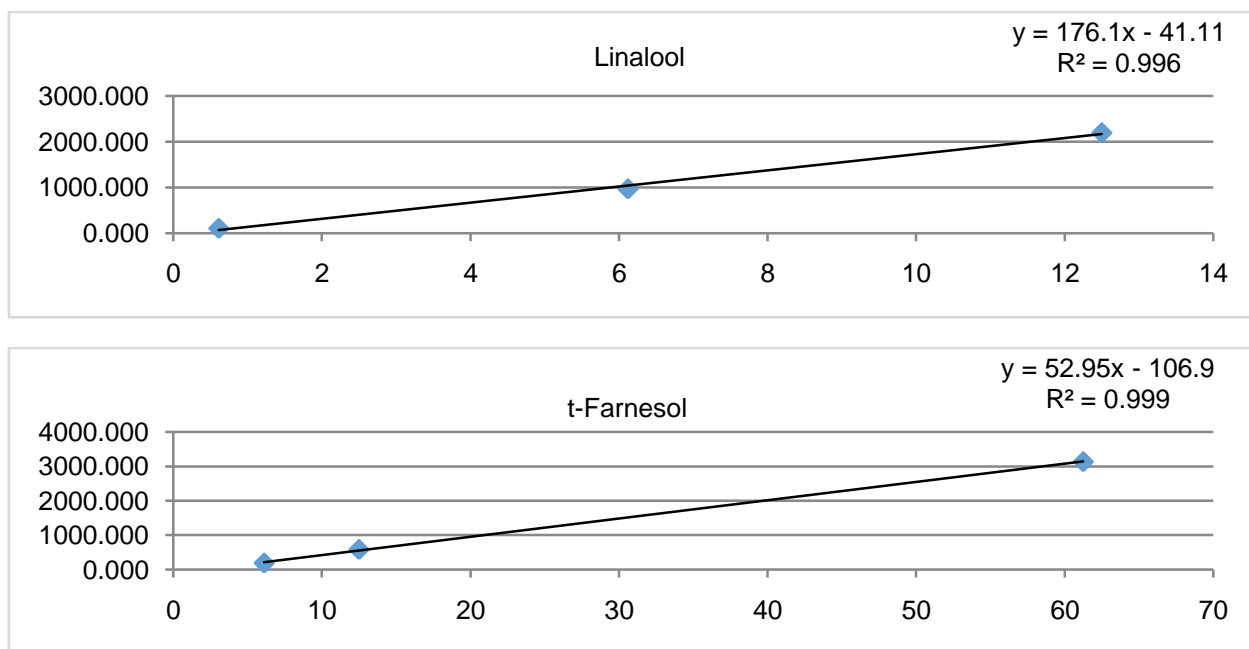
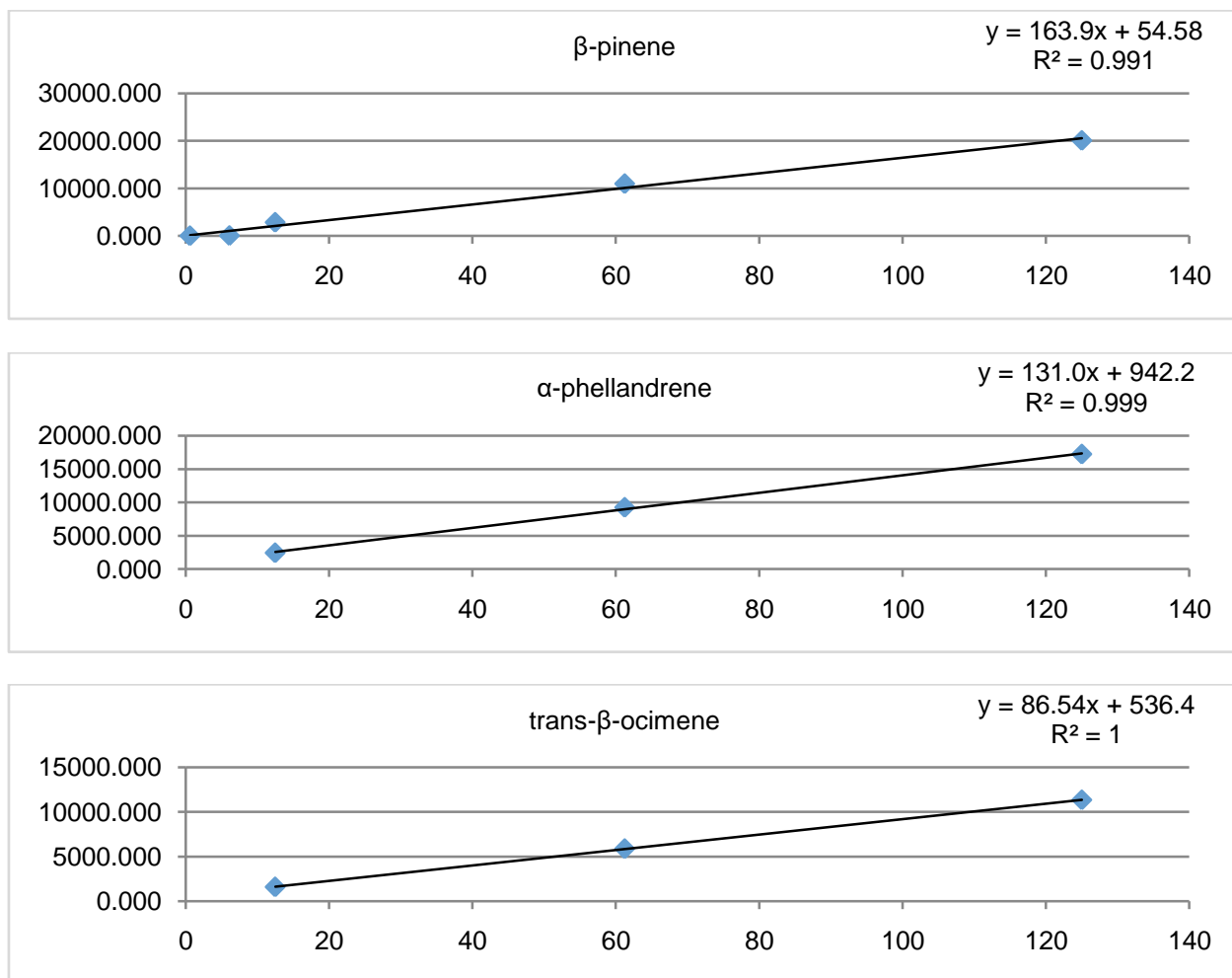
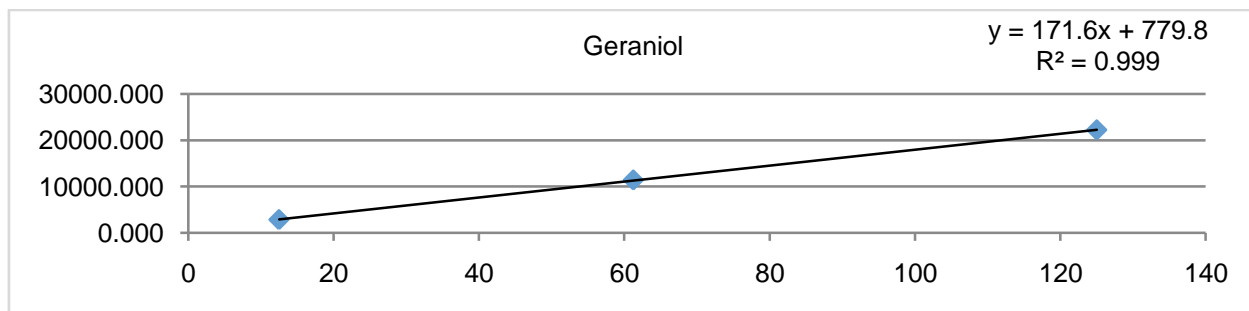
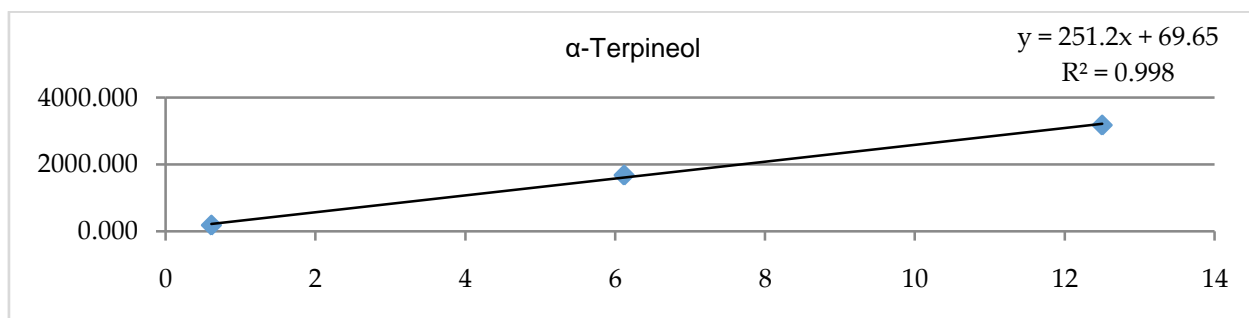
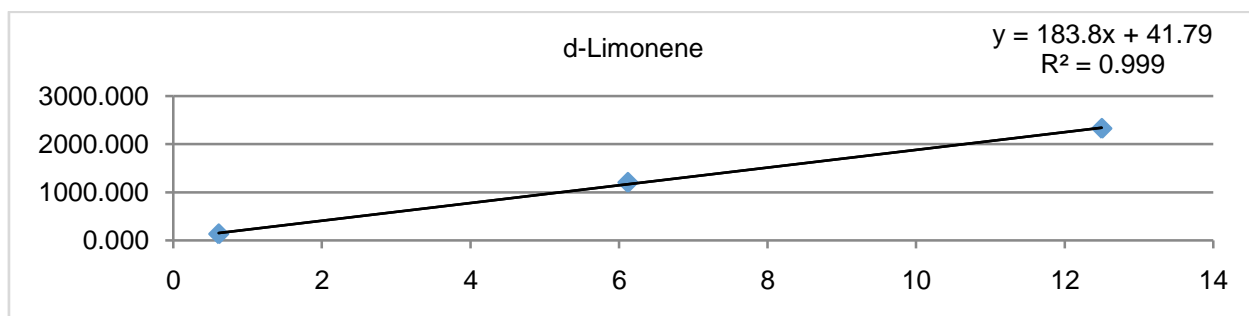
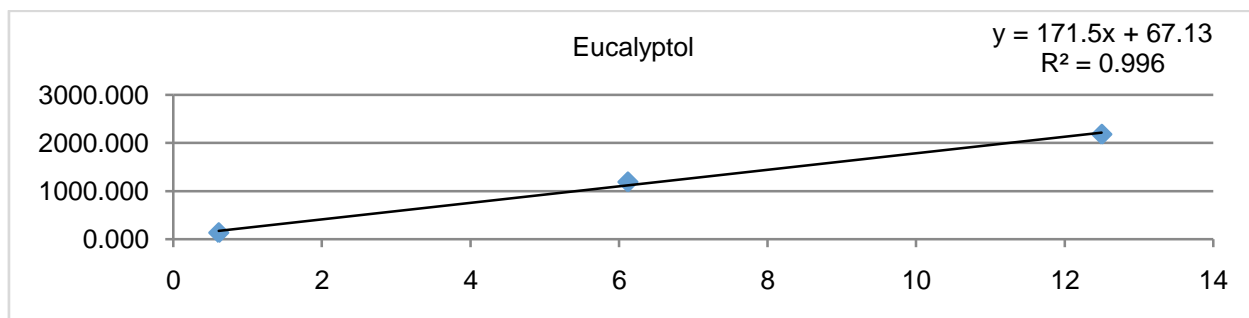


Fig.26. Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe A



**Fig.27.** Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe B**Fig.28.** Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe C

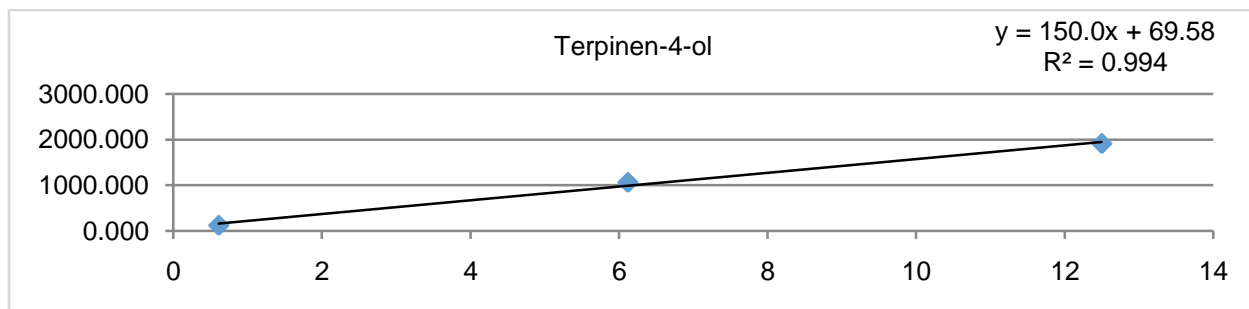


Fig.29. Les courbes d'étalonnage des étalons du groupe D

La figure 30 représente une analyse ANOVA montrant l'effet du film de couverture de serre sur la teneur en composés trouvés dans l'huile essentielle extraite des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis*, selon l'échantillon de départ.

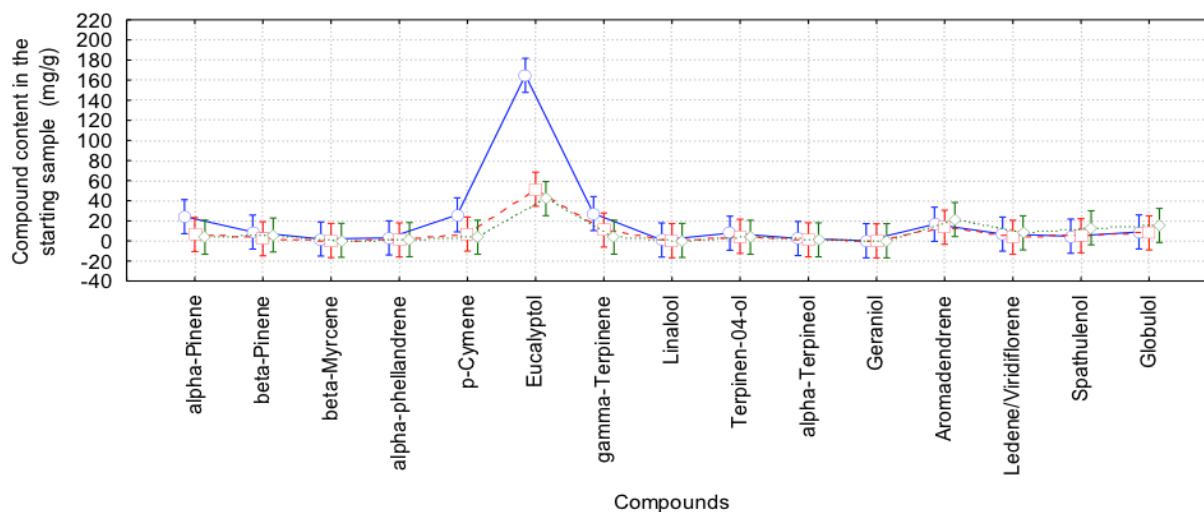


Fig. 30. Analyse de variance ANOVA comparant l'effet du type de film de couverture LDPE sur la teneur moyenne des composés d'huile essentielle d'*Eucalyptus camaldulensis* présents dans leurs feuilles (mg/g)

2.5. DISCUSSION

Selon la figure 16, le film LDPE tricouche faisait que sa serre correspondante accumulait plus de chaleur que celle recouverte par le film ordinaire et, par conséquent, elle avait une humidité relative moyenne plus faible, qui semblait diminuer avec la hausse de la chaleur et vice versa. Le flux lumineux était plus intense à l'intérieur de la serre à trois couches, grâce à sa couleur plus claire par rapport à celle ordinaire, avec une différence approximative dans une plage de 60-130 Lux.

La serre monocouche était la plus éclairée et aussi la plus chaude avec une valeur moyenne totale sur quatorze semaines de 44,13 °C, et par conséquent la moins humide parmi les autres avec une moyenne totale de 18,28%. La température moyenne maximale a été observée au cours de la semaine 12, avec une valeur de 49,92 °C pour la serre tricouche. La serre monocouche était plus froide avec environ 2 °C, voire une valeur de 48,02 °C. L'ordinaire avait 40,88 °C, et par conséquent une valeur plus élevée d'humidité relative de 20,12 %. De plus, la température maximale atteinte par la serre monocouche était au cours de la semaine 12 et le minimum était au cours de la semaine suivante avec une valeur de 38,70 °C. La serre à trois couches a connu presque la même valeur de température minimale moyenne au cours de la cinquième semaine. Pour l'ordinaire, c'était dans la deuxième semaine avec une valeur de 33,42°C. La température la plus élevée atteinte par cette dernière était d'environ 45°C au cours de la 11e semaine. L'humidité relative la plus élevée qui a été atteinte au cours de la période de 14 semaines a été obtenue par la serre à trois couches au cours de la 9e semaine avec une valeur de 34,50 %. La plus basse a été atteinte par la même serre au cours de la semaine 12. La serre monocouche a toujours été la plus éclairée en raison de son film de couverture en LDPE non peint laissant passer une intensité lumineuse importante. Elle a atteint son intensité maximale au cours de la dernière semaine, avec une valeur de 1010,90 Lux.

Les résultats présentés dans les figures 18 et 19 montrent des différences significatives du développement d'*E. camaldulensis* selon le type de film de couverture de serre et la période d'étude. Les plantes d'eucalyptus se comportaient différemment d'une serre à l'autre. Cela signifie que les conditions environnantes générées par le matériau de couverture de la serre ont affecté différemment la croissance des plantes.

La croissance d'*Eucalyptus camaldulensis* en termes de nombre de feuilles et de longueur de tige (Figure 18), a montré une évolution de type progressif au cours de la période d'étude. Cependant, le film ordinaire a montré une évolution plus rapide atteignant une moyenne finale de 262 feuilles. Les plantes d'eucalyptus cultivées dans les serres à trois couches et à monocouche ont présenté des valeurs moyennes inférieures d'environ 227 et 220 feuilles, respectivement.

La hauteur maximale de la plante était en faveur des conditions de serre à trois couches. En fait, la longueur moyenne de la tige finale (semaine 14) était d'environ 84 cm, et d'environ 83 cm, puis 75 cm pour la monocouche et les serres ordinaires, respectivement.

La dernière date de comparaison était uniquement entre les films de serres multicouches puisque celui monocouche n'était pas fonctionnel. Les plantes d'eucalyptus cultivées à l'intérieur de la serre recouverte d'un film ordinaire ont atteint un nombre moyen de feuilles de 337 et une longueur de tige de 87 cm, tandis que celles cultivées sous le film à trois couches présentaient une moyenne de feuilles d'environ 257 et une hauteur de 92 cm.

Les résultats de mesure de diamètre montrent la même tendance d'évolution que la précédente. La croissance des plantes d'eucalyptus a augmenté au cours de la période d'expérimentation, atteignant une moyenne finale de diamètres inférieurs et à mi-hauteur avec des valeurs de 11 mm et 5 mm à l'intérieur de la serre ordinaire. Les serres à trois couches et monocouches ont eu des résultats inférieurs d'environ 10,9 mm et 10,5 mm de diamètre inférieur, ainsi que 5 mm et 4,9 mm de diamètre à mi-hauteur, respectivement.

La croissance en diamètre est restée en faveur du film ordinaire lors de la dernière date de mesure, avec une valeur moyenne finale de 12 mm et 5,6 mm de diamètre inférieur et de diamètre à mi-hauteur, respectivement. De plus, la serre à trois couches a montré différentes valeurs de résultat d'environ 11 mm de diamètre inférieur et 5,8 mm de diamètre à mi-hauteur.

Selon Doran et al. (1995), la croissance de l'eucalyptus peut être affectée par la température et l'humidité. De ce fait, la proportion de biomasse foliaire varie d'une saison à l'autre (Doran et al., 1995). Il semble que les paramètres climatiques n'affectent pas seulement le nombre de feuilles mais aussi la croissance en diamètre. De plus, une bonne intensité lumineuse peut être bénéfique pour la culture en augmentant sa production finale (Al-Helal et Alhamdan, 2009). De plus, le processus de photosynthèse ne peut pas se produire sans lumière visible ou photosynthétique (Al-Helal et Alhamdan, 2009). De plus, une intensité lumineuse élevée peut être désavantageuse pour la plante, sachant qu'elle peut augmenter son stress et créer une accumulation d'énergie solaire à l'intérieur de la serre, en particulier dans les zones au milieu aride (Al-Helal et Alhamdan, 2009). Sachant que ces investigations ont été placées dans une zone semi-aride, cela correspond bien à nos résultats.

Doran et al. (1995) ont rapporté que la croissance des espèces d'eucalyptus varie fortement selon l'âge, la taille, les conditions climatiques, le génotype et l'écotype de l'arbre. Ils

ont également mentionné une interaction directe entre la masse foliaire et la composition et la concentration des huiles essentielles (Doran et al., 1995).

Les rendements d'extraction récupérés des huiles essentielles d'eucalyptus étaient de l'ordre de 0,09 % pour la serre recouverte du film ordinaire et de l'ordre de 0,10% pour les serres tricouches et monocouches. Le rendement obtenu à partir d'une huile essentielle peut différer selon le milieu d'étude et les saisons (Ben Hassine et al., 2010 ; Robles et Garzino, 2000). Gilles et al. (2010) ont également rapporté que les facteurs géoclimatiques ont la capacité d'influencer le rendement total de l'huile essentielle récupérée des plantes (Gilles et al., 2010). Il a été perçu dans la section ci-dessus que les espèces d'*Eucalyptus camaldulensis* étaient cultivées dans différentes conditions climatiques et intensité lumineuse. Cependant, les résultats étaient assez similaires. Cela signifie que le rendement d'extraction n'a pas été fortement affecté par les conditions environnantes.

L'analyse chromatographique ainsi que la spectroscopie de masse ont permis d'identifier 66 composés de l'huile essentielle d'*Eucalyptus camaldulensis*. L'huile extraite contenait majoritairement des monoterpènes (hydrocarbures et oxygénés) tels que Eucalyptol, Linalol, -Pinène, -Pinène, β -Myrcène, α -Terpinène, p-Cymène, et Géraniol. Des sesquiterpènes et des sesquiterpènes oxygénés tels que Spathulenol, Globulol, et γ -Elemene, ont également été identifiés.

Les résultats du tableau 4 montrent des différences importantes du pourcentage moyen relatif d'huile essentielle d'eucalyptus. Le pourcentage relatif le plus élevé du composé principal (Eucalyptol) a été trouvé dans l'huile essentielle d'eucalyptus cultivée en serre ordinaire, avec une valeur de 72,718%. La quantité d'eucalyptol dans les espèces d'eucalyptus peut aller de 10 à 90 % (Carson et Hammer, 2010). Comme rapporté par Chalchat et al. (2001), le pourcentage d'eucalyptol peut être affecté par son habitat de croissance (Chalchat et al., 2001). Cela pourrait expliquer la variabilité du contenu et du pourcentage relatif. Les autres composés présentaient également une variabilité de concentration, ce qui n'a que du sens.

Le développement des feuilles d'*E.camaldulensis* est fortement dépendant de son environnement de croissance, en particulier les jeunes feuilles, qui sont très sensibles aux

fluctuations environnementales. Cela peut entraîner une variation de la composition et de la concentration de leurs huiles essentielles (Doran et al., 1995).

Selon Rivoal et al. (2010), la température et la lumière ont un impact important sur l'émission de l'incidence des terpènes, en particulier au printemps et en été (Rivoal et al., 2010). Une des explications probables de ce phénomène est l'allongement des bourgeons au printemps et la variation de la collecte des terpènes durant cette période (Kim, 2001). Kim et al. (2005) ont également souligné que la température et la quantité de lumière disponible pour le processus de photosynthèse peuvent affecter les taux d'émission de monoterpènes (Kim et al., 2005). Ils ont également signalé que la température optimale la plus élevée pour la génération de monoterpènes est d'environ 40 °C en été (Kim et al., 2005). Les serres couvertes par les films LDPE monocouche et tricouche se sont avérées respectivement les plus chaudes et les plus éclairées. Néanmoins, Al-Helal et Alhamdan (2009) ont signalé qu'une intensité lumineuse élevée peut être désavantageuse pour les plantes, en particulier dans les zones à environnement aride (Al-Helal et Alhamdan, 2009). Cela pourrait expliquer la variation de composition chimique des huiles essentielles d'*Eucalyptus camaldulensis* et pourquoi elle est en faveur de la serre couverte par le film ordinaire.

Les résultats de l'analyse statistique de la variance indiquent une différence hautement significative, montrant l'effet du film de couverture de serre sur la teneur en composés trouvés dans l'huile de feuille d'*E. camaldulensis*, selon les échantillons de départ. Ceci confirme la dépendance de la composition chimique des huiles essentielles sur le matériau de couverture des serres.

Le composé principal eucalyptol (1,8-cinéol) a présenté la valeur la plus élevée dans l'échantillon de départ d'*E. camaldulensis* cultivé en serre recouverte d'un film LDPE ordinaire. Ce monoterpène oxygéné est connu pour ses multiples propriétés dans le domaine médical et pharmaceutique, telles que des activités anti-inflammatoires et antibactériennes (Rosato et al., 2007 ; Santos et Rao, 2000).

La variance de la teneur en monoterpène α -pinène non oxygéné dans les huiles essentielles récupérées des feuilles d'eucalyptus était également importante. Ce composant est

également précieux en raison de ses activités biologiques, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (Setzer et al., 1999 ; Silifat et al., 2005).

Les huiles essentielles extraites des feuilles d'*E. camaldulensis* ont également connu une variation importante en termes de teneur en composés p-Cymène et -Terpinène. Ces deux constituants ont également une valeur non négligeable dans le domaine médical puisque grâce à leurs activités antibactériennes, anti-inflammatoires et antioxydantes (Gilles et al., 2010 ; Silifat et al., 2005 ; Yvon et al., 2012). Le P-Cymene est également utilisé dans la synthèse de parfums et d'arômes (Martín-Luengo et al., 2008). De plus, le γ -terpinène pourrait également avoir des effets anticancéreux (Mubarak et al., 2015).

L'huile essentielle de feuille d'*E. camaldulensis* cultivée sous serre monocouche a présenté la teneur la plus élevée en aromadendrène, viridiflorène, globulol et spathuléol. Selon Pérez-Hernández et al. (2009), la molécule aromadendrène reconnue sous le nom de spathuléol a diverses activités biologiques telles qu'antifongiques, antivirales, cytotoxiques et régulatrices du développement des plantes (Pérez-Hernández et al., 2009).

2.6. CONCLUSION

Le film de couverture ordinaire a créé un microclimat et une intensité lumineuse plus adaptés à la croissance de l'eucalyptus en termes de nombre de feuilles et de diamètre de tige. Néanmoins en ce qui concerne la hauteur de la plante, les conditions de serre à trois couches étaient plus adaptées. La serre monocouche a donné des résultats inférieurs.

Eucalyptus camaldulensis contenait différentes quantités d'huiles essentielles selon leurs serres de cultures. De plus, les huiles essentielles extraites présentaient des variations concernant leur composition chimique et le contenu de leurs composés. Les huiles essentielles extraites étaient dominées par de multiples composés volatils, tels que l'eucalyptol (1,8-cinéol), le γ -terpinène, l'arodendrène, le ledène/viridiflorène, et le globulol. Le composé le plus abondant était le 1,8-cinéol. La composition chimique a montré quelques variations en termes de disponibilité des composés d'une huile essentielle à l'autre en fonction de leur environnement de croissance. Cela devrait être fortement pris en considération. De plus, les teneurs en composés dans les huiles essentielles d'eucalyptus variaient également de l'une à l'autre, en ce qui concerne leur serre de culture et les résultats étaient hautement significatifs. Les conditions environnantes générées par

le matériau de couverture de serre ordinaire, semblaient être plus favorables aux huiles essentielles en ce qui concerne leur composition chimique et leur teneur en eucalyptol. Cependant, les huiles essentielles de la serre monocouche contenaient une teneur plus élevée des autres principaux composés volatils.

*Chapitre 03: Etude de la dégradation chimique
des films LDPE utilisés comme matériau de
couverture de serre*

3.1. CONTEXTE

Au cours des 50 dernières années, la fabrication mondiale de plastique a énormément augmenté et est désormais considérée comme incontournable, présentant une production considérable d'environ 335 millions de tonnes en 2016 (Ranjan et Goel, 2019). Il est utilisé régulièrement par 7,5 milliards de personnes de la communauté universelle (Jayaprakash et Palempalli, 2018).

Dans ce chapitre, des échantillons vieillis des trois films LDPE utilisés pour le revêtement des serres ont été collectés et comparés aux vierges. Des techniques de spectroscopie infrarouge et ultraviolet-visible ont été utilisées pour analyser et comparer ces échantillons. Le processus de dégradation de chaque type de film LPDE a été étudié en caractérisant et en évaluant les changements de leurs liaisons chimiques. Le pourcentage de transmission lumineuse a été étudié de l'état initial à un état avancé de dégradation. Enfin, un modèle de dégradation cinétique a été proposé.

3.1.1. Films Polyéthylènes

En raison de leurs propriétés mécaniques remarquables, les films de polyéthylène (PE) sont désormais produits en permanence dans le monde et ont des utilisations diverses, représentant 64 % du matériau d'emballage fabriqué et sont généralement jetés après une seule et courte utilisation (Petukhova et Fedorov, 2019 ; Sudhakar et al. ., 2008). Le polyéthylène est un matériau abordable, inerte et particulièrement résistant à la dégradation biotique, et ne signale pas de danger éco-toxicologique particulier (Koutny et al., 2006).

3.1.1.1. Fabrication de polyéthylène

Le film de polyéthylène est principalement réalisé avec une épaisseur à partir de 8 μm . Néanmoins, une exposition continue au soleil est considérée comme la cause principale et rapide de sa dégradation, même s'il contient des stabilisants (Koutny et al., 2006). Le polyéthylène est principalement composé d'une longue chaîne de liaisons CC et CH, ainsi que d'oxygène, de soufre et/ou d'azote, et a une structure moléculaire semi-cristalline et élevée (Koutny et al., 2006 ; Martínez-Romo et al., 2015 ; Roy, 2013). De plus, les films de polyéthylène sont essentiellement fabriqués avec une méthode multicouche, en utilisant le système de coextrusion, en joignant divers matériaux vierges (Caro et Comas, 2017).

3.1.1.2. Applications du polyéthylène

Grâce à sa flexibilité, le film LDPE est le plus utilisé dans le domaine commercial, tel que la fabrication de sacs et bouteilles, et l'emballage alimentaire. De plus, en raison de sa transparence, il est parfait pour les produits de revêtement qui nécessitent principalement une observance visuelle (Manohar et al., 2015). Ce type de plastique est également utilisé pour le revêtement des serres grâce à ses caractéristiques mécaniques et physiques (Aumnatea et al., 2010).

3.1.1.3. Problèmes environnementaux du polyéthylène

Le problème majeur de l'utilisation du polyéthylène comme film de couverture de serre est sa courte durée de vie, principalement dans des conditions climatiques difficiles. Il est quasiment impossible de contrôler la température traversant la serre dans ces conditions, surtout en été (Abreu et al., 2019). Ceci constitue non seulement un problème pour les plastiques mais

aussi pour la culture sous serre. Le microclimat, l'humidité, l'activité biologique et le rayonnement solaire sont les principaux facteurs de dégradation du polyéthylène. L'accumulation de poussière peut également être un facteur affectant le film de couverture de la serre, étant donné qu'il absorbe et réfléchit une partie du rayonnement solaire traversant la surface du matériau (Al-Helal et Alhamdan, 2009 ; Mourad et Dehbi, 2014). Tous ces facteurs contribuent à la dégradation des films en affectant leur résistance et en provoquant leur noircissement et leur détérioration rapide. De plus, la température de l'air à l'intérieur de la structure fermée est fortement affectée par la transmission du rayonnement solaire, qui dépend de la saison de l'année (Al-Helal et Alhamdan, 2009).

Des additifs spéciaux tels que des antioxydants et des stabilisants sont incorporés dans ces films LDPE pour obtenir une durée de vie prolongée. Cependant, ils peuvent s'épuiser, ce qui peut conduire à leur dégradation finale (Aumnatea et al., 2010 ; Kowalska et al., 2016). La compréhension du processus de dégradation d'un polymère doit être liée à l'étude de son environnement physique, chimique et biologique (Stangenberg et al., 2004). Il est possible de déterminer la longévité du polymère en analysant son utilisation (Petukhova et Fedorov, 2019). Selon Peterson et al (2001) et Tidjani (2000), les principales raisons de la dégradation des polymères dans l'environnement sont des réactions de photo et thermooxydation, provoquant la formation de nouveaux produits lors de la scission de chaîne, l'abstraction d'atomes d'hydrogène ou des effets de cage (Gardette et al., 2013).

Les rayonnements UV provoquent des destructions de liaisons interatomiques par procédure oxydative, conduisant à des réactions chimiques telles que des modifications de leur poids moléculaire, la création de nouveaux groupes fonctionnels, et diminuant également leurs propriétés mécaniques jusqu'à l'état final de dégradation (Fotopoulou et Karapanagioti, 2017 ; Gijssman, 2008 ; Petukhova et Fedorov, 2019). De plus, la décomposition photochimique des hydroperoxydes est généralement élevée sous exposition aux UV, conduisant à la formation de plusieurs photoproduits tels que des alcools, des cétones et des acides carboxyliques (Tidjani, 2000). En fait, la dégradation des polymères est une conséquence du fait que la quantité d'énergie fournie dépasse l'énergie de liaison entre les atomes du polymère (Martínez-Romo et al., 2015).

3.2. OBJECTIFS

Les principaux objectifs du présent chapitre étaient les suivants :

- Étudier et comparer les paramètres climatiques intérieurs et extérieurs des serres d'étude;
- Comparaison mensuelle de l'intensité lumineuse traversant les matériaux de revêtement de la serre ;
- Analyse par spectroscopie infrarouge afin d'étudier la dégradation des polymères ;
- Spectroscopie UV-visible afin d'étudier la transmission lumineuse par les films de couverture de serre ;
- Déterminez quel matériau est le plus adéquat pour la culture en serre, en termes de résistance et de durabilité.

3.3. MATERIEL ET MÉTHODES

3.3.1. Zone d'étude

L'expérimentation a débuté à l'Université d'Ibn Khaldoun Tiaret (Algérie), où trois serres différenciées par le film de couverture ont été installées à des fins de culture végétale (Voir chapitre 1 et 2). Cette étude a été réalisée au Laboratoire de Chimie, Université de Lleida, Espagne.

3.3.2. Matériel

Le matériel utilisé pour cette étude contenait :

- Echantillons de films LDPE
- Equipment FT-IR
- Equipment UV-vis spectroscopy

3.3.3. Méthodes

3.3.3.1. Installation et couverture de serre (voir chapitre 1 et 2)

3.3.3.2. Paramètres climatiques et mesure de l'intensité lumineuse

Les trois serres avaient la même surface et partageaient des conditions extérieures égales d'altération naturelle et de rayonnement UV. Les microclimats (température et humidité relative) ont été suivis à l'aide d'un sponsor appelé multimetrix (data logger DL53) qui était situé au milieu des serres. Les paramètres des moyennes mensuelles maximales ont été calculés et comparés aux paramètres climatiques externes. De plus, l'intensité lumineuse traversant chaque serre a été mesurée avec un luxmètre (AMPROBE LM-120) et la moyenne mensuelle a été calculée.

3.3.3.3. Echantillonnage

Des échantillons ont été prélevés au hasard en coupant les films de couverture en plastique pendant une période de 5 mois (une fois par mois).

3.3.3.4. Analyse UV-visible spectroscopie

La spectroscopie ultraviolet-visible est une technique souvent utilisée pour déterminer le pourcentage de transmittance et le degré d'absorbance des rayonnements dans la zone spectrale UV-visible. Cette zone du spectre électromagnétique est liée aux transitions électroniques des atomes et des molécules (Zhao et al., 2019). Cette technique a été utilisée pour étudier les changements de la transmittance UV-visible des films LDPE utilisés pour la couverture des serres. Le pourcentage de transmission de la lumière dans la région UV (200-400 nm) et la transmission de la lumière visible (400-700 nm) ont été enregistrés. Tous les spectres ont été enregistrés dans un spectromètre UV/Vis Specord 210. Les données ont été préalablement visualisées et analysées par le logiciel WinASPECT 2.2.1.0 puis rassemblées et transformées en de nouveaux spectres réalisés par Microsoft Excel pour chaque type de film LDPE.

3.3.3.5. Analyse FTIR spectroscopie

La spectroscopie infrarouge permet d'enregistrer l'absorption de certains rayonnements IR de longueur d'onde spécifique (Kowalska et al., 2016). Ces bandes d'absorption infrarouge présentent des nombres d'onde différents selon la structure de l'échantillon et les groupes

fonctionnels présents dans le polymère, ce qui est utile pour leur évaluation et leur caractérisation (Kim et al., 2012). Par conséquent, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est fréquemment utilisée pour étudier les changements qui peuvent apparaître lors de la dégradation du polyéthylène, tels que leur degré de cristallinité et leurs structures amorphes (Ibiene et al., 2013 ; Mecozzi et Nisini, 2019 ; Xu et al., 2002). La dégradation chimique par des processus oxydants peut être observée par analyse par spectroscopie FT-IR (Canopoli et al., 2020 ; Tidjani, 2000).

Les spectres FT-IR (4000 et 650 cm^{-1}) ont été enregistrés à l'aide d'un spectromètre Jasco FT-IR 6300 et d'un ATR à réflexion totale atténuée. Les spectres ont été corrigés de la ligne de base (Gijnsman, 2008). L'absorbance de bandes spécifiques a été mesurée et l'identification de la compatibilité des bandes avec les liaisons spécifiques et les groupes fonctionnels a été réalisée à l'aide de tables de référence.

3.4. RESULTATS

3.4.1. Paramètres climatiques et analyse de l'intensité lumineuse

Les moyennes de température diurne maximale et d'humidité relative à l'intérieur des différentes serres sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5. Moyenne mensuelle maximale de la température et de l'humidité relative pendant la période d'étude

Months	Ordinary		Three-Layer		Monolayer	
	T°C	RH%	T°C	RH%	T°C	RH%
March	32.5	21.7	36.0	22.1	44.8	18.4
April	36.6	23.9	40.7	22.5	44.0	18.7
May	41.3	21.1	41.7	22.8	44.1	19.2
June	41.4	20.5	44.6	18.1	44.1	18.1

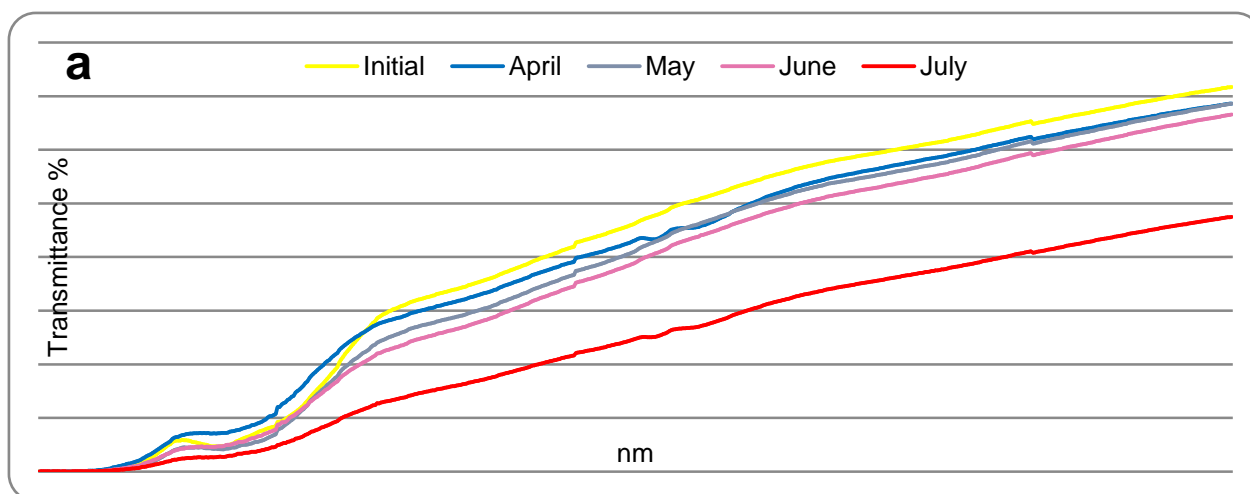
Le tableau 6 montre l'intensité lumineuse traversant les films de polyéthylène utilisés pour recouvrir les serres.

Tableau 6. Comparaison de la moyenne mensuelle du flux lumineux traversant les films de couverture de la serre

Months	Light intensity (Lux)		
	Ordinary	Three-Layer	Monolayer
Mars	727.6	792.8	998.8
April	577.5	678.6	840.0
May	603.8	724.2	874.2
June	632.5	738.9	892.2

3.4.2. UV-vis spectroscopie

Les films à trois couches ont montré une transmittance de la lumière UV-visible inférieure à celle du film monocouche (Figure 31).



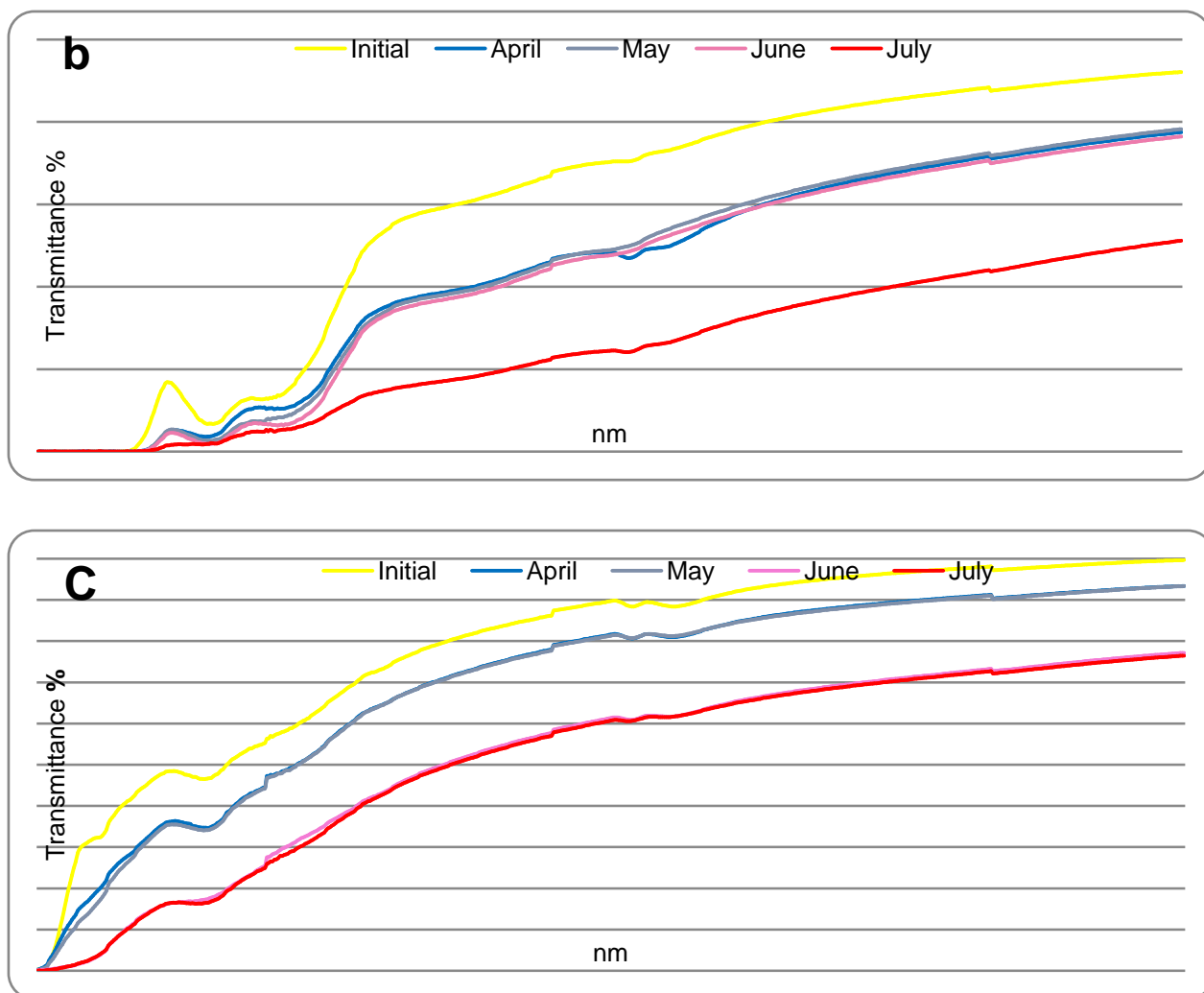


Fig.31. Pourcentage de transmission de la lumière UV-visible à travers les films LDPE pendant leur processus de vieillissement (de mars à juillet). Ordinaire (a), trois couches (b) et monocouche (c)

3.4.3. FT-IR spectroscopie

Les films LDPE ont traversé de multiples phases de dégradation depuis leur application comme couvertures de serres et leur exposition à l'environnement naturel (Figures 32, 33 et 34). Cette section décrit la dégradation chimique des films de polyéthylène pour la période de 5 mois

3.5. DISCUSSION

Selon les résultats du tableau 5, la serre monocouche a présenté les valeurs de température les plus élevées, avec une valeur moyenne totale sur 4 mois de 44,3 °C et donc, la valeur la plus faible d'humidité relative par rapport à la d'autres structures. Les serres à trois couches et les

serres ordinaires ont enregistré approximativement les mêmes valeurs d'environ 21,4 % et 21,8 %, respectivement. De plus, la serre à trois couches était environ 4 °C plus froide que la serre monocouche, avec une valeur moyenne totale de 40,7 °C. Enfin, la température à l'intérieur de la serre ordinaire était d'environ 37,9 °C pendant la période de 4 mois.

Al-Helal et Alhamdan (2009) ont signalé dans une recherche précédente une température de serre diurne élevée et, par conséquent, une faible humidité relative par rapport à celle de l'extérieur. La principale raison était l'accumulation de chaleur causée par la conversion du rayonnement solaire en énergie thermique à l'intérieur de la serre (Al-Helal et Alhamdan, 2009). De plus, les serres recouvertes d'un matériau contenant des agents ultraviolets, infrarouges et antibuée se sont avérées avoir une température et une humidité plus élevées que l'extérieur (Al-Helal et Alhamdan, 2009). Ceci est bien corrélé avec les résultats présentés dans le tableau 5.

Le tableau 6 montre l'intensité lumineuse traversant les films de polyéthylène utilisés pour recouvrir les serres. L'intensité lumineuse à l'intérieur de la serre monocouche était plus élevée par rapport à la serre à trois couches et aux serres ordinaires avec les valeurs de 901,3 Lux, 733,6 Lux et 635,4 Lux, respectivement. Cela signifie que l'absorbance de la lumière dans les films colorés à l'origine (trois couches et ordinaire) était plus élevée que celle du film monocouche, qui n'était à l'origine pas peint.

Les résultats de transmission de la lumière UV-vis sont parfaitement corrélés avec ceux concernant le flux lumineux prélevé à l'intérieur des serres. Les films à trois couches ont montré une transmittance de la lumière UV-visible inférieure à celle du film monocouche.

Toute la transmittance UV-visible a diminué au cours de l'expérience de cinq mois, indiquant que la monocouche a perdu sa transparence au cours de son processus de vieillissement. Les pourcentages maximaux de transmittance de la lumière dans la zone UV pendant le temps de vieillissement du polymère étaient à 400 nm (78% au stade initial). Cette transmittance a diminué à 69 % pendant les mois d'avril et mai et à 48 % pendant les mois de juin et juillet. La transmittance de la lumière visible (de 400 nm à 700 nm) présente le même comportement que la lumière UV. Il n'indique aucune absorbance, ce qui signifie une transmission de 98 % au point de 700 nm. Celle-ci diminue à 91 % en avril, puis à 90 % en mai, et enfin à 70 % durant les mois de juin et juillet.

En ce qui concerne le film à trois couches, il présentait une transmittance de la lumière UV inférieure à celle du film monocouche. En effet, son état initial révélait un pic de transmittance, atteignant 17 % à 270 nm, tombant à 10 % à 300 nm puis remontant jusqu'à 58 % à 400 nm, puis autour de 88 % à 700 nm dans le domaine de la lumière visible. Au cours des mois d'avril, mai et juin, le film à trois couches a montré plus ou moins la même transmission de la lumière UV, chutant à 5% à 270 nm, puis à 37% à 400 nm, et à 71% à 700 nm dans le région de la lumière visible. Le mois de juillet a indiqué un comportement différent en ce qui concerne la transmittance UV, qui a chuté à 2% au point 270 nm. La transmittance maximale de la lumière visible était d'environ 44 % à 700 nm.

Comme prévu par sa couleur d'origine, le film ordinaire a également montré un pourcentage de transmission de la lumière inférieur à celui du film à trois couches et monocouche. En effet, la transmittance maximale de la lumière dans la zone UV du film ordinaire non utilisé était d'environ 33 % à 400 nm. La transmittance à 400 nm a diminué à 30% en avril, puis à 28% en mai, à 26% en juin, et enfin à moins de 16% en juillet. L'intensité la plus élevée de la transmittance de la lumière visible était de 65 % à 700 nm dans le film ordinaire vierge. Au cours de son utilisation, cette transmittance s'est évanouie à 62 % de manière uniforme en avril et mai, a de nouveau diminué à 59 % en juin et à 41 % en juillet.

Les conditions climatiques influencent fortement la transmittance du rayonnement solaire projetant le matériau de couverture de serre. En fait, la transmission du rayonnement solaire des films de polyéthylène diminue rapidement sous leur exposition continue à l'environnement. Al-Helal et Alhamdan (2009) ont déclaré que la température de l'air diminue lorsque le rayonnement solaire est faible et inversement. Ce qui explique pourquoi la température s'est avérée plus élevée à l'intérieur de la serre recouverte du film monocouche qui recevait plus d'intensité lumineuse que les autres. Le cadre métallique de la serre peut également réduire la transmission de la lumière à travers le film de couverture en polyéthylène en raison du blocage du rayonnement et de la condensation du revêtement (Al-Helal et Alhamdan, 2009). Tout cela s'ajoute à l'analyse des paramètres climatiques qui a montré des degrés extrêmes de température en plus de la faible humidité relative, surtout pendant l'été.

Une exposition continue du polyéthylène aux intempéries naturelles pendant une période de 3 à 4 mois réduit les propriétés physiques du matériau telles que la rigidité et la résistance,

provoquant la dégradation totale du matériau (Martínez-Romo et al., 2015 ; Ojeda et al. , 2009). Le film monocouche a montré une dégradation croissante au cours de la période d'utilisation, notamment au cours du mois de juin, lorsqu'une dégradation optique, un assombrissement des couleurs et une diminution de la luminosité ont été constatés. Malgré le fait que les films à trois couches et les films ordinaires ont également subi des changements de rigidité, de couleur et de brillance, ils n'ont pas été soumis au même type de dégradation.

FT-IR spectroscopy indicates several transformations in the chemical structure and composition of the studied polymers (Figures 31, 32, and 33).

3.6. CONCLUSION

Cette étude a été menée afin d'étudier et de comprendre le comportement des films LDPE utilisés comme matériau de couverture de serre dans la zone semi-aride de la ville de Tiaret (Algérie). Bien que des études similaires aient été menées dans ce domaine, aucune étude n'a été menée en présence de cultivars à l'intérieur des serres à notre connaissance. Les cultivars peuvent contribuer à la détérioration des polymères. Il est à noter que la présence de végétaux avait joué un rôle majeur dans la variation d'humidité à l'intérieur des serres, facteur de dégradation des polymères. Les conditions climatiques intérieures et extérieures ainsi que les rayonnements UV ont également contribué à leur photo et thermodégradation. Le film monocouche avait un taux de transmission de la lumière UV-visible plus élevé que les films multicouches. Cependant, cette dernière a considérablement augmenté avec le temps, ce qui indiquait une dégradation chimique. Dans le modèle cinétique proposé, les films multicouches ont montré un taux d'oxydation plus élevé que le film monocouche. Cependant, ce dernier a montré la dégradation optique la plus élevée et la plus rapide. Cela pourrait être dû à sa composition initiale ou à son système d'extrusion qui n'était pas similaire aux autres couvertures de serre fabriquées à l'origine avec un processus de co-extrusion. En effet, la durée de vie du film monocouche n'excédait pas cinq mois. Cependant, les films ordinaires et à trois couches sont restés complètement fonctionnels pendant une période de temps plus longue.

Conclusion générale et perspectives

La culture en serre nécessite généralement un environnement contrôlé pour une croissance et une production optimales des plantes. Cependant, les films plastiques réguliers utilisés pour leur couverture créent un microclimat incontrôlé, en particulier dans les zones aux conditions climatiques difficiles.

Les deux espèces choisies pour cette étude ont subi un stress à la fois climatique et physiologique dû aux conditions environnementales de la ville de Tiaret. Le type de matériau de revêtement de serre a un effet significatif sur le microclimat et l'intensité lumineuse traversant la serre. Néanmoins, ces espèces se comportaient différemment dans les conditions des serres. En fait, le matériau de revêtement monocouche a créé un microclimat et une intensité lumineuse plus appropriés pour la culture de la tomate en ce qui concerne sa croissance et sa production. Cependant, la croissance d'*Eucalyptus camaldulensis* était remarquablement plus importante sous serre ordinaire en termes de nombre de feuilles et de diamètre de tige. De plus, en ce qui concerne la hauteur des plantes d'eucalyptus en fonction du temps, les conditions de serre à trois couches étaient plus pratiques. Des résultats inférieurs ont été observés pour le développement de l'eucalyptus sous serre monocouche. De plus, le rendement moyen des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* par rapport à leur serre de culture, était assez similaire.

L'analyse chromatographique a permis d'identifier soixante-six produits chimiques dans l'huile essentielle d'*E. camaldulensis*, dans laquelle l'eucalyptol (1,8-cinéol) était le constituant principal.

Il est à noter que la plupart des principaux composés tels que l'eucalyptol, le p-Cymène, le -Pinène, le -Terpinène, et le globulol, détiennent des activités biologiques très importantes. Cependant, certains de ces composés contiennent des effets plus précieux que d'autres.

La croissance et la composition de l'huile essentielle d'*Eucalyptus camaldulensis* semblaient être plus adéquates avec les conditions environnantes créées par les films multicouches, en particulier le film ordinaire, qui a été initialement utilisé comme témoin.

Les matériaux de revêtement de serre se sont comportés différemment, même dans des conditions environnantes similaires et dans notre domaine d'étude. Les températures élevées subies par les espèces cultivées à l'intérieur des serres, ont provoqué des sécheresses extrêmes et une évapotranspiration remarquable des plantes. Par conséquent, ces cultivars ont fortement contribué au taux d'humidité général à l'intérieur des serres, qui est considéré comme un facteur

de dégradation des polymères avec la température et les rayonnements UV. Tous ces facteurs ont été étudiés en utilisant la spectroscopie infrarouge et une proposition de modèle de cinétique réalisée afin d'étudier l'oxydation des polymères. Les résultats ont démontré une thermodégradation notable des matériaux. De plus, la spectroscopie UV-visible a montré que le film monocouche vierge avait une meilleure transmission lumineuse que les autres. Cependant, l'absorbance des rayonnements UV a augmenté avec le temps, ce qui a entraîné une réduction de la transmittance, indiquant une dégradation chimique des films de couverture des serres. Même si tous les matériaux ont subi d'importantes dégradations, la plus visible était celle du film monocouche. En effet, la durée de vie de cette dernière n'était que de 5 mois, laissant la serre complètement nue. Dans le même temps, les autres serres sont restées pleinement fonctionnelles.

Il est important de prendre en compte les conditions environnantes et l'environnement de croissance afin de bénéficier davantage du produit final, selon le but d'utilisation.

Des investigations supplémentaires doivent être menées dans ce domaine et le choix du matériau de couverture de la serre doit être élaboré avec soin, sachant qu'il peut affecter non seulement la croissance de la végétation mais également sa production et sa composition en huile essentielle.

De plus, la durée de vie du matériau doit être fortement prise en considération. Sachant que le film de couverture monocouche était le plus adéquat pour la culture de la tomate, sa durée de vie doit être prise en considération et devrait être améliorée à l'avenir.

Ces résultats sont importants dans le domaine agricole et peuvent indiquer quel type de film plastique de couverture doit être utilisé pour la culture en serre. Cela dépend également du type de plantes à cultiver et de ses exigences appropriées pour une meilleure croissance et production.

D'autres approches doivent être prises en considération et d'autres espèces doivent être testées afin d'avoir des connaissances plus approfondies dans ce domaine d'étude.

References

References

- Abed, R.M.M., Muthukrishnan, T., Al Khaburi, M., Al-Senafi, F., Munam, A., Mahmoud, H., 2020. Degradability and biofouling of oxo-biodegradable polyethylene in the planktonic and benthic zones of the Arabian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 150, 110639. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110639>
- Abreu, A.C., Marín, P., Aguilera-Sáez, L.M., Tristán, A.I., Peña, A., Oliveira, I., Simões, M., Valera, D., Fernández, I., 2019. Effect of a Shading Mesh on the Metabolic, Nutritional, and Defense Profiles of Harvested Greenhouse-Grown Organic Tomato Fruits and Leaves Revealed by NMR Metabolomics. *J. Agric. Food Chem.* 67, 12972–12985. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05657>
- Al-Helal, I.M., Alhamdan, A.M., 2009. Effect of arid environment on radiative properties of greenhouse polyethylene cover. *Sol. Energy* 83, 790–798. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.11.008>
- Aleksic Sabo, V., Knezevic, P., 2019. Antimicrobial activity of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. plant extracts and essential oils: A review. *Ind. Crops Prod.* 132, 413–429. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.051>
- Ali, N., Ahmed, G., Ali Shah, S.W., Shah, I., Ghias, M., Khan, I., 2011. Acute toxicity, brine shrimp cytotoxicity and relaxant activity of fruits of *Callistemon citrinus* Curtis. *BMC Complement. Altern. Med.* 11, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-11-99>
- Amati, M., Dekker, E., Lingen, T. van, Pinners, E., Tam, S.C.A., 2002. How to grow tomato and peppers, Agrodok. Wageningen.
- Asbahani, A. El, Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E.H.A., Casabianca, H., Mousadik, A. El, Hartmann, D., Jilale, A., Renaud, F.N.R., Elaissari, A., 2015. Essential oils: From extraction to encapsulation. *Int. J. Pharm.* 483, 220–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>
- Atkinson, N.J., Dew, T.P., Orfila, C., Urwin, P.E., 2011. Influence of combined biotic and abiotic stress on nutritional quality parameters in tomato (*Solanum lycopersicum*). *J. Agric. Food Chem.* 59, 9673–9682. <https://doi.org/10.1021/jf202081t>

- Aumnatea, C., Gamonpilas, C., Krueenatec, J., 2010. Effect of ethylene vinyl acetate on the rheological and mechanical behavior of low-density polyethylene-based greenhouse film. *Adv. Mater. Res.* 93–94, 475–478. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.93-94.475>
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils - A review. *Food Chem. Toxicol.* 46, 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Bakker, J.C., 1984. Physiological disorders in cucumber under high humidity conditions and low ventilation rates in greenhouses. *Acta Hortic.* 257–264.
- Batish, D.R., Singh, H.P., Kohli, R.K., Kaur, S., 2008. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *For. Ecol. Manage.* 256, 2166–2174. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.008>
- Begum, S., Farhat, Siddiqui, B.S., 1997. Triterpenoids from the leaves of *Eucalyptus camaldulensis* var. *obtusa*. *J. Nat. Prod.* 60, 20–23. <https://doi.org/10.1021/np960535z>
- Ben Hassine, D., Ben Ismail, H., Jribi, C., Khouja, M.L., Abderrabba, M., 2010. Chemical composition of some Tunisian *Eucalyptus* essential oils as obtained by hydrodistillation using Clevenger type apparatus. *Biosci. Biotechnol. Res. Asia* 7, 647–656.
- Ben Jemâa, J.M., Haouel, S., Bouaziz, M., Khouja, M.L., 2012. Seasonal variations in chemical composition and fumigant activity of five *Eucalyptus* essential oils against three moth pests of stored dates in Tunisia. *J. Stored Prod. Res.* 48, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.10.001>
- Berka-Zougali, B., Ferhat, M.A., Hassani, A., Chemat, F., Allaf, K.S., 2012. Comparative study of essential oils extracted from Algerian *myrtus communis* L. leaves using microwaves and hydrodistillation. *Int. J. Mol. Sci.* 13, 4673–4695. <https://doi.org/10.3390/ijms13044673>
- Bhagat, M., Gupta, S., Jamwal, V.S., Sharma, S., Kattal, M., Dawa, S., Devi, R., Bindu, K., 2016. Comparative study on chemical profiling and antimicrobial properties of essential oils from different parts of *eucalyptus lanceolatus*. *Indian J. Tradit. Knowl.* 15, 425–432.
- Bhowmik, D., Kumar, K.P.S., Paswan, S., Srivastava, S., 2012. Tomato-A Natural Medicine and Its Health Benefits. *Phytojournal* 1, 33–43.

- Boulard, T., Fatnassi, H., Roy, J.C., Lagier, J., Fargues, J., Smits, N., Rougier, M., Jeannequin, B., 2004. Effect of greenhouse ventilation on humidity of inside air and in leaf boundary-layer. *Agric. For. Meteorol.* 125, 225–239. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.04.005>
- Boulard, T., Raepffel, C., Brun, R., Lecompte, F., Hayer, F., Carmassi, G., Gaillard, G., 2011. Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agron. Sustain. Dev.* 31, 757–777. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0031-3>
- Camejo, D., Rodríguez, P., Morales, M.A., Dell'Amico, J.M., Torrecillas, A., Alarcón, J.J., 2005. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *J. Plant Physiol.* 162, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.07.014>
- Canopoli, L., Coulon, F., Wagland, S.T., 2020. Science of the Total Environment Degradation of excavated polyethylene and polypropylene waste from land fill. *Sci. Total Environ.* 698, 134125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134125>
- Caro, E., Comas, E., 2017. Polyethylene comonomer characterization by using FTIR and a multivariate classification technique. *Talanta* 163, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.10.082>
- Carson, C.F., Hammer, K.A., 2010. Chemistry and Bioactivity of Essential Oils. *Lipids Essent. Oils as Antimicrob. Agents* 25, 203–238. <https://doi.org/10.1002/9780470976623.ch9>
- Chalchat, J.C., Kundakovic, T., Gorunovic, M.S., 2001. Essential oil from the leaves of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., Myrtaceae from Jerusalem. *J. Essent. Oil Res.* 13, 105–107. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699627>
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought - From genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30, 239–264. <https://doi.org/10.1071/FP02076>
- Coppen, J.J., 2002. *Eucalyptus The genus Eucalyptus, Medicinal.* ed. Taylor and Francis. London and New York.
- Costa, J., Heuvelink, E., 2005. *Tomatoes, CABI Publi.* ed, Introduction: The Tomato Crop and

- Industry. Wageningen University, The Netherlands, London, UK.
<https://doi.org/10.1079/9780851993966.0001>
- da Luz, J.M.R., Paes, S.A., Nunes, M.D., da Silva, M. de C.S., Kasuya, M.C.M., 2013. Degradation of Oxo-Biodegradable Plastic by *Pleurotus ostreatus*. *PLoS One* 8, 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069386>
- De Billerbeck, V.G., 2007. Huiles essentielles et bactéries résistantes aux antibiotiques. *Phytotherapie* 5, 249–253. <https://doi.org/10.1007/s10298-007-0265-z>
- De Pascale, S., Martino, A., Raimondi, G., Maggio, A., 2007. Comparative analysis of water and salt stress-induced modifications of quality parameters in cherry tomatoes. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 82, 283–289. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512230>
- Dehbi, A., Mourad, A.H.I., 2016. Durability of mono-layer versus tri-layers LDPE films used as greenhouse cover: Comparative study. *Arab. J. Chem.* 9, S282–S289. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.04.010>
- Dodson, M., Bachmann, J., Williams, P., 2002. Organic greenhouse tomato production. *Horticulture Production Guide.*, 1-800-346-9140. Fayetteville, Arkansas.
- Dorais, M., Ehret, D.L., Papadopoulos, A.P., 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: From the seed to the consumer. *Phytochem. Rev.* 7, 231–250. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x>
- Dorais, M., Papadopoulos, A.P., Gosselin, A., 2001. Greenhouse Tomato Fruit quality, Horticultural review. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470650806.ch5](https://doi.org/10.1002/9780470650806.ch5)
- Doran, J.C., Caruhapattana, B., Namsavat, S., Brophy, J.J., 1995. Effect of harvest time on the leaf and essential oil yield of *Eucalyptus camaldulensis*. *J. Essent. Oil Res.* 7, 627–632. <https://doi.org/10.1080/10412905.1995.9700517>
- Elaissi, A., Rouis, Z., Salem, N.A.B., Mabrouk, S., ben Salem, Y., Salah, K.B.H., Aouni, M., Farhat, F., Chemli, R., Harzallah-Skhiri, F., Khouja, M.L., 2012. Chemical composition of 8 eucalyptus species' essential oils and the evaluation of their antibacterial, antifungal and antiviral activities. *BMC Complement. Altern. Med.* 12, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1472->

6882-12-81

- Fadil, M., Farah, A., Ihssane, Haloui, T., Rachiq, S., 2015. Optimisation des paramètres influençant l'hydrodistillation de *Rosmarinus officinalis* L. par la méthodologie de surface de réponse. *J. Mater. Environ. Sci.* 6, 2328–2336.
- Fargues, J., Vidal, C., Smits, N., Rougier, M., Boulard, T., Mermier, M., Nicot, P., Reich, P., Jeannequin, B., Ridray, G., Lagier, J., 2003. Climatic factors on entomopathogenic hyphomycetes infection of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) in Mediterranean glasshouse tomato. *Biol. Control* 28, 320–331. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00097-5](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00097-5)
- Fernandez, D., Castrillo, M., 1999. Maize Leaf Rolling Initiation. *Photosynthetica* 37, 493–497. <https://doi.org/10.1023/A:1007124214141>
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., Chemat, F., 2014. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale. *Food Chem.* 150, 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.139>
- Fotopoulou, K.N., Karapanagioti, H.K., 2017. Degradation of Various Plastics in the Environment. *Hazard. Chem. Assoc. with Plast. Mar. Environ.* 78, 71–92. https://doi.org/10.1007/698_2017_11
- Gakuubi, M.M., 2016. Steam distillation extraction and chemical composition of essential oils of *Toddalia asiatica* L. and *Eucalyptus*. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 5, 99–104.
- Gardette, M., Perthue, A., Gardette, J.L., Janecska, T., Földes, E., Pukánszky, B., Therias, S., 2013. Photo- and thermal-oxidation of polyethylene: Comparison of mechanisms and influence of unsaturation content. *Polym. Degrad. Stab.* 98, 2383–2390. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.017>
- Gijsman, P., 2008. Review on the thermo-oxidative degradation of polymers during processing and in service. *E-Polymers* 8. <https://doi.org/10.1515/epoly.2008.8.1.727>
- Gilles, M., Zhao, J., An, M., Agboola, S., 2010. Chemical composition and antimicrobial properties of essential oils of three Australian *Eucalyptus* species. *Food Chem.* 119, 731–

737. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.021>
- Golam, F., Hossain Prodhan, Z., Nezhadahmadi, A., Rahman, M., 2012. Heat tolerance in tomato. *Life Sci. J.* 9, 1936–1950.
- Gulmine, J. V, Janissek, P.R., Heise, H.M., Akcelrud, L., 2003. Degradation profile of polyethylene after artificial accelerated weathering. *Polym. Degrad. Stab.* 385–397. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00338-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00338-5)
- Hamdi, S.H., Hedjal-Chebheb, M., Kellouche, A., Khouja, M.L., Boudabous, A., Ben Jemâa, J.M., 2015. Management of three pests' population strains from Tunisia and Algeria using *Eucalyptus* essential oils. *Ind. Crops Prod.* 74, 551–556. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.072>
- Harkat-Madouri, L., Asma, B., Madani, K., Bey-Ould Si Said, Z., Rigou, P., Grenier, D., Allalou, H., Remini, H., Adjaoud, A., Boulekbache-Makhlouf, L., 2015. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of *Eucalyptus globulus* from Algeria. *Ind. Crops Prod.* 78, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.10.015>
- Holder, R., Cockshull, K.E., 1990. Effects of humidity on the growth and yield of glasshouse tomatoes. *J. Hortic. Sci.* 65, 31–39. <https://doi.org/10.1080/00221589.1990.11516025>
- Huang, H.C., Ho, Y.C., Lim, J.M., Chang, T.Y., Ho, C.L., Chang, T.M., 2015. Investigation of the anti-melanogenic and antioxidant characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* flower essential oil and determination of its chemical composition. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 10470–10490. <https://doi.org/10.3390/ijms160510470>
- Ibiene, A.A., Stanley, H.O., Immanuel, O.M., 2013. Biodegradation of Polyethylene by *Bacillus* sp. Indigenous to the Niger Delta Mangrove Swamp. *Niger. J. Biotechnol.* 26, 68–78.
- Izakmehri, K., Saber, M., Mehrvar, A., Hassanpouraghdam, M.B., Vojoudi, S., 2013. Lethal and Sublethal Effects of Essential Oils from *Eucalyptus camaldulensis* and *Heracleum persicum* Against the Adults of *Callosobruchus Maculatus* . *J. Insect Sci.* 13, 1–10. <https://doi.org/10.1673/031.013.15201>
- Jayaprakash, V., Palempalli, U.M.D., 2018. Effect of palmitic acid in the acceleration of

- polyethylene biodegradation by *Aspergillus oryzae*. *J. Pure Appl. Microbiol.* 12, 2259–2268. <https://doi.org/10.22207/JPAM.12.4.66>
- Jiao, Y., Lau, O.S., Deng, X.W., 2007. Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nat. Rev. Genet.* 8, 217–230. <https://doi.org/10.1038/nrg2049>
- Jones Jr, J.B., 1999. Tomato plant Culture. In the field, Greenhouse and Home Garden, CRC Press. ed, New York. Boca Raton London New York Washington, D.C. ©, New York, Boca Raton, Florida.
- Juneau, V., Caron, J., Martinez, C., Gravel, V., Allaire, S., 2006. Growing media, greenhouse tomato yield and *Pythium* root rot. *Can. J. Soil Sci.* 86, 501–512. <https://doi.org/10.4141/s05-038>
- Kacjan-Maršič, N., Osvald, J., Jakše, M., 2005. Evaluation of ten cultivars of determinate tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), grown under different climatic conditions. *Acta Agric. Slov.* 2, 321–328.
- Karacabey, E., Bayindirli, L., Artik, N., Mazza, G., 2013. Modeling solid-liquid extraction kinetics of trans-resveratrol and trans- ϵ -viniferin from grape cane. *J. Food Process Eng.* 36, 103–112. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2011.00660.x>
- Kim, H.S., Bernitz, J.M., Lee, D., Lemischka, I.R., Biology, R., Sinai, M., York, N., 2012. Analysis of Polymer Standards by Fourier Transform Infrared Spectroscopy-Attenuated Total Reflectance and Pyrolysis Gas Chromatography/Mass Spectroscopy and the Creation of Searchable Libraries. Marshall Univ. Forensic Sci. Program, Atlanta 1–46. <https://doi.org/10.1152/jn.01063.2007>
- Kim, J.C., 2001. Factors controlling natural VOC emissions in a southeastern US pine forest. *Atmos. Environ.* 35, 3279–3292. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00522-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00522-7)
- Kim, J.C., Kim, K.J., Kim, D.S., Han, J.S., 2005. Seasonal variations of monoterpene emissions from coniferous trees of different ages in Korea. *Chemosphere* 59, 1685–1696. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.048>
- Koutny, M., Lemaire, J., Delort, A.M., 2006. Biodegradation of polyethylene films with

- prooxidant additives. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.12.060>
- Kowalska, B., Klepka, T., Kowalski, D., 2016. Influence of chlorinated water on mechanical properties of polyethylene and polyvinyl chloride pipes. *Urban Water III* 1, 63–74. <https://doi.org/10.2495/uw160061>
- Krehula, L.K., Katancić, Z., Siročić, A.P., Hrnjak-Murgić, Z., 2014. Weathering of high-density polyethylene-wood plastic composites. *J. Wood Chem. Technol.* 34, 39–54. <https://doi.org/10.1080/02773813.2013.827209>
- Langlais, C., Ryckewaert, P., 2000. Guide to sheltered cultivation in the humid tropics {Guide de la culture sous abri en zone tropicale humide}, Chantal Lo. ed. Montpellier, France.
- Lee, S.K., Kader, A.A., 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20, 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Leila, S., Mhamed, M., Heilmeier, H., Kharytonov, M., Wiche, O., Moschner, C., Onyshchenko, E., Nadia, B., 2017. Fertilization value of municipal sewage sludge for *Eucalyptus camaldulensis* plants. *Biotechnol. Reports* 13, 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.12.001>
- Li, Y., Fabiano-Tixier, A.S., Vian, M.A., Chemat, F., 2013. Solvent-free microwave extraction of bioactive compounds provides a tool for green analytical chemistry. *TrAC - Trends Anal. Chem.* 47, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.02.007>
- Liu, C., Mei, C., Xu, B., Chen, W., Yong, C., Wang, K., Wu, Q., 2018. Light stabilizers added to the shell of co-extruded wood/high-density polyethylene composites to improve mechanical and anti-UV ageing properties. *R. Soc. Open Sci.* 5. <https://doi.org/10.1098/rsos.180074>
- Lloyd, J., Farquhar, G.D., 2008. Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 1811–1817. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0032>
- Manohar, C.M., Prabhawathi, V., Sivakumar, P.M., Doble, M., 2015. Design of a papain immobilized antimicrobial food package with curcumin as a crosslinker. *PLoS One* 10.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121665>

- Martín-Luengo, M.A., Yates, M., Martínez Domingo, M.J., Casal, B., Iglesias, M., Esteban, M., Ruiz-Hitzky, E., 2008. Synthesis of p-cymene from limonene, a renewable feedstock. *Appl. Catal. B Environ.* 81, 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2007.12.003>
- Martínez-Romo, A., González-Mota, R., Soto-Bernal, J.J., Rosales-Candelas, I., 2015. Investigating the Degradability of HDPE, LDPE, PE-BIO, and PE-OXO Films under UV-B Radiation. *J. Spectrosc.* 2015, 6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2015/586514>
- Martins, D. de S., Watthier, M., Ernani Schwengber, J., Rosa da Silva, D., Noremberg Schubert, R., Marins Nogueira Peil, R., 2018. Planting density and number of stems for ecological crop determinate growth tomato. *African J. Agric. Res.* 13, 544–550. <https://doi.org/10.5897/ajar2018.13039>
- Mecozzi, M., Nisini, L., 2019. Infrared Physics & Technology The differentiation of biodegradable and non-biodegradable polyethylene terephthalate (PET) samples by FTIR spectroscopy : A potential support for the structural differentiation of PET in environmental analysis. *Infrared Phys. Technol.* 101, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.06.008>
- Merzlyak, M.N., Solovchenko, A.E., Chivkunova, O.B., 2002. Patterns of pigment changes in apple fruits during adaptation to high sunlight and sunscald development. *Plant Physiol. Biochem.* 40, 679–684. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01408-0](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01408-0)
- Miller, P., Lanier, W., Brandt, S., 2001. Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages. *Mont. State Univ. Ext. Serv.* 9, 59717(406), 994–2721.
- Mitchell, J.P., Shennan, C., Grattan, S.R., May, D.M., 1991. Tomato Fruit Yields and Quality under Water Deficit and Salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116, 215–221. <https://doi.org/10.21273/jashs.116.2.215>
- Moretti, C.L., Mattos, L.M., Calbo, A.G., Sargent, S.A., 2010. Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Res. Int.* 43, 1824–1832. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.013>

- Morgan, L., 2003. Hydroponic tomatoes: the complete guide to soilless success. Part 1: tomatoes plant physiology.
- Mourad, A.H.I., Dehbi, A., 2014. On use of trilayer low density polyethylene greenhouse cover as substitute for monolayer cover. *Plast. Rubber Compos.* 43, 111–121. <https://doi.org/10.1179/1743289814Y.0000000082>
- Mubarak, E.E., Ali, L.Z., Ahmed, I.F.A., Ahmed, A.B.A., Taha, R.M., 2015. Essential oil compositions and cytotoxicity from various organs of *Eucalyptus camaldulensis*. *Int. J. Agric. Biol.* 17, 320–326.
- Muruganathan, U., Srinivasan, S., Indumathi, D., 2013. Antihyperglycemic effect of carvone: Effect on the levels of glycoprotein components in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Acute Dis.* 2, 310–315. [https://doi.org/10.1016/s2221-6189\(13\)60150-x](https://doi.org/10.1016/s2221-6189(13)60150-x)
- Muthukumar, T., Aravinthana, A., Dineshram, R., Venkatesan, R., Doble, M., 2014. Biodegradation of starch blended high density polyethylene using marine bacteria associated with biofilm formation and its isolation characterization. *J. Microb. Biochem. Technol.* <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000131>
- Naz, F., Haq, I.U.L., Asghar, S., Shah, A.S., Rahman, A., Infection, F., Transgenic, I.N., 2011. Studies on growth , yield and nutricional composition of diferent tomato cultivars in Battal Valley of district Mansehra, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Pakistan J. Phytopathol.* 28, 45–55. <https://doi.org/10.1093/nar/gkr623>
- Nicot, P.C., Baille, A., 1996. Integrated Control of *Botrytis Cinerea* on Greenhouse Tomatoes. *Aer. Plant Surf. Microbiol.* 169–189. https://doi.org/10.1007/978-0-585-34164-4_11
- Ojeda, T.F.M., Dalmolin, E., Forte, M.M.C., Jacques, R.J.S., 2009. Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes. *Polym. Degrad. Stab.* 94, 965–970. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.03.011>
- Pavan, S., van Heusden, A.W., Bai, Y., 2009. *Solanum lycopersicum* (Tomato) . *Encycl. Life Sci.* <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0003686>
- Pérez-Hernández, N., Ponce-Monter, H., Ortiz, M.I., Cariño-Cortés, R., Joseph-Nathan, P., 2009.

- Structure-Activity Relationships of Aromadendranes in Uterus-Relaxant Activity. *Zeitschrift fur Naturforsch. - Sect. C J. Biosci.* 64, 840–846. <https://doi.org/10.1515/znc-2009-11-1214>
- Petukhova, E.S., Fedorov, A.L., 2019. Investigation of the climate resistance of stabilized polyethylene composite materials, in: *Procedia Structural Integrity*. Elsevier B.V., pp. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.118>
- Pirali-Kheirabadi, K., Razzaghi-Abyaneh, M., Halajian, A., 2009. Acaricidal effect of *Pelargonium roseum* and *Eucalyptus globulus* essential oils against adult stage of *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* in vitro. *Vet. Parasitol.* 162, 346–349. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.03.015>
- Ranjan, V.P., Goel, S., 2019. Degradation of Low-Density Polyethylene Film Exposed to UV Radiation in Four Environments. *J. Hazardous, Toxic, Radioact. Waste* 23, 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000453](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000453)
- Rivoal, A., Fernandez, C., Lavoit, A. V., Olivier, R., Lecareux, C., Greff, S., Roche, P., Vila, B., 2010. Environmental control of terpene emissions from *Cistus monspeliensis* L. in natural Mediterranean shrublands. *Chemosphere* 78, 942–949. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.047>
- Robles, C., Garzino, S., 2000. Intraspecific variability in the essential oil composition of *Cistus monspeliensis* leaves. *Phytochemistry* 53, 71–75. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(99\)00460-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(99)00460-4)
- Rosato, A., Vitali, C., De Laurentis, N., Armenise, D., Antonietta Milillo, M., 2007. Antibacterial effect of some essential oils administered alone or in combination with Norfloxacin. *Phytomedicine* 14, 727–732. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2007.01.005>
- Roy, G.K., 2013. A Novel Process of Converting Polyethylene to Gasoline , Middle Distillate and Heavy Oil through Hydropyrolysis Route. *Int. J. Energy Eng.* 2013, 3, 147–157. <https://doi.org/10.5923/j.ijee.20130303.04>
- Saglam, A., Kadioglu, A., Terzi, R., Saruhan, N., 2008. Physiological changes in them in post-stress emerging *Ctenanthe setosa* plants under drought conditions. *Russ. J. Plant Physiol.* 55,

48–53. <https://doi.org/10.1134/s1021443708010056>

Salim, H.A., Ali, A.F., Abbas, H.A., Galal, M.A., Gafer, N.K., Abraham, H.T., Azeez, H.F., 2016. Comparison of growth and yield characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) varieties under greenhouse conditions. *Al-Anbar J. Agr. Sci* 41.

Sani, I.A., Ahmed, S.S., Ahmed, N., Shahwani, M.N., 2013. In-vitro Hybridization of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Appl. Emerg. Sci.* 4, 94–99.

Santos, F.A., Rao, V.S.N., 2000. Antiinflammatory and antinociceptive effects of 1,8-cineole a terpenoid oxide present in many plant essential oils. *Phyther. Res.* 14, 240–244. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200006\)14:4<240::AID-PTR573>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200006)14:4<240::AID-PTR573>3.0.CO;2-X)

Setzer, W.N., Setzer, M.C., Moriarity, D.M., Bates, R.B., Haber, W.A., 1999. Biological activity of the essential oil of *Myrcianthes* sp. nov. “black fruit” from Monteverde, Costa Rica. *Planta Med.* 65, 468–469. <https://doi.org/10.1055/s-2006-960816>

Silifat, J.T., Ogunwande, I.A., Olawore, N.O., Walker, T.M., Schmidt, J.M., Setzer, W.N., Olaleye, O.N., Aboaba, S.A., 2005. In vitro cytotoxicity activitie of essential oils of *eucalyptus torrelliana* f. v. muell (leaves and fruits). *J. Essent. Oil-Bearing Plants* 8, 110–119. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2005.10643429>

Singh, B., Sirohi, N.P.S., 2006. Protected cultivation of vegetables in India: problems and future prospects. *Acta Hortic.* 710, 339–342. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.710.38>

Slimestada, R., Verheulb, M., 2009. Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*lycopersicon esculentum* mill.) cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 89, 1255–1270. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3605>

Snyder, R.G., 1992. *Greenhouse Tomato Handbook*. Publication-Cooperative Extension Service, Mississippi State University, USA.

Stangenberg, F., Gren, S.A.°, Karlsson, S., 2004. Quality Assessments of Recycled Plastics by Spectroscopy and Chromatography. *Chromatographia* 59, 101–106. <https://doi.org/10.1365/s10337-003-0133-4>

- Sudhakar, M., Doble, M., Murthy, P.S., Venkatesan, R., 2008. Marine microbe-mediated biodegradation of low- and high-density polyethylenes. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 61, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.07.011>
- Tidjani, A., 2000. Comparison of formation of oxidation products during photo-oxidation of linear low density polyethylene under different natural and accelerated weathering conditions. *Polym. Degrad. Stab.* 68, 465–469. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(00\)00039-2](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(00)00039-2)
- Tsiri, D., Kretsi, O., Chinou, I.B., Spyropoulos, C.G., 2003. Composition of fruit volatiles and annual changes in the volatiles of leaves of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. growing in Greece. *Flavour Fragr. J.* 18, 244–247. <https://doi.org/10.1002/ffj.1220>
- Xu, J., Guo, B.H., Yang, R., Wu, Q., Chen, G.Q., Zhang, Z.M., 2002. In situ FTIR study on melting and crystallization of polyhydroxyalkanoates. *Polymer (Guildf.)* 43, 6893–6899. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00615-8](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00615-8)
- Yilmaz, E., 2001. The chemistry of fresh tomato flavor. *Turkish J. Agric. For.* 25, 149–155. <https://doi.org/10.3906/tar-0007-14>
- Yvon, Y., Guy Raelison, E., Razafindrazaka, R., Randriantsoa, A., Romdhane, M., Chabir, N., Guedri Mkaddem, M., Bouajila, J., 2012. Relation between Chemical Composition or Antioxidant Activity and Antihypertensive Activity for Six Essential Oils. *J. Food Sci.* 77. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02812.x>
- Zhao, X., Zhao, K., Sun, P., 2019. A method to describe the shapes of UV–vis absorbance spectra during the aggregation process of conjugated polymer solutions quantitatively. *Chem. Phys. Lett.* 730, 582–586. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.06.030>