



DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

N°.....SNV/2021

THÈSE

Présentée par

BENARAB Hadouda

Pour l'obtention du diplôme

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: **AGRONOMIE**

Spécialité: **PRODUCTION VÉGÉTALE**

THÈME

**Effets des huiles essentielles de l'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso.),
l'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) et le Harmel (*Peganum harmala* L.) sur
la germination des graines des adventices des cultures**

Soutenue publiquement le: 04/04/2021

DEVANT LE JURY

Président:	Pr. LAOUAR Hocine	Université Farhat Abbes Sétif -1-
Directeur:	Pr. FENNI Mohammed	Université Farhat Abbes Sétif -1-
Examineurs :	Pr. HAZMOUNE Tahar	Université 20 août 1955 Skikda
	Dr. HANI Meriem	Université Farhat Abbes Sétif -1-
	Dr. BOUNAR Rabah	Université Mohamed Boudiaf M'sila
	Dr. ZEDAM Abdelghani	Université Mohamed Boudiaf M'sila

Remerciements

*Avant tout, je remercie **Allah**, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir donné la force, le courage, et la santé afin de réaliser ce travail.*

*J'exprime mes profonds remerciements à Monsieur **FENNI Mohammed** professeur à l'université **Ferhat Abbes Sétif-1-**, mon directeur de thèse, pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce travail de recherche. Je vous remercie pour tout ce que vous m'avez apporté, pour votre encadrement, pour vos conseils, pour votre patience. Je vous remercie également pour les nombreuses relectures et corrections apportées à mes essais de rédaction.*

*Je remercie également les membres de mon jury de thèse; Monsieur **LAOUAR Hocine** professeur à l'université **Ferhat Abbes Sétif-1-** président de ce jury et les examinateurs; **HAZMOUNE Tahar** professeur à l'université **20 août 1955 Skikda**, **HANI Meriem** Docteur à l'université **Ferhat Abbes Sétif-1-**, **BOUNAR Rabah** Docteur à l'université **Mohamed Boudiaf M'sila** et **ZEDAM Abdelghani** Docteur à l'université **Mohamed Boudiaf M'sila** pour le temps qu'ils auront dédié à mon travail.*

*Un grand merci à tous mes collègues de travail pour leur soutien et leur sympathie. Je citerai particulièrement; Pr. **CHENNEFI Houria**, Pr. **RAMDANI Messaoud**, Pr. **LOGRADA Takia**, Dr. **NOUAR Hind**, Dr. **BOUKHABTI Habiba**, Dr. **LEBEZDA Rafika**, Dr. **ARBOUCHE Yassmine**, Dr. **MENNANI Achour** et M. **LOUADJ Yacine** et M^{elle} **BOUNNEB Souhila**. Je vous remercie et je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance.*

*Je voudrais aussi adresser un grand merci au Docteur **FIGUEREDO Gilles** directeur du laboratoire **LEXIVA** analytique (France) et Docteur **OUALMI Abdelmalek** directeur du laboratoire **VRBN** (Université Sétif-1-).*

إن العديد من الأنواع النباتية تقوم بإنتاج جزيئات قادرة على تثبيط إنتاش و نمو النباتات المجاورة لها. تسمى هذه الظاهرة بالتضاد الحيوي (allélopathie), وهي تقدم افاق واعدة في التحكم بالأعشاب الضارة للمحاصيل. بهدف البحث على المنتجات الطبيعية ذات الأصل النباتي والتي قد يكون لها تأثير مبيدات الأعشاب, اخترنا ثلاث أنواع نباتية (*Eucalyptus globulus* Labill. و *Artemisia herba-alba* Asso. و *Peganum harmala* L.), لتقييم إمكانات التضاد الحيوي لزيتونها الأساسية على إنتاش ونمو نبيتات بعض أنواع الأعشاب الضارة للمحاصيل. تم استخلاص الزيوت الأساسية عن طريق التقطير المائي للأجزاء الهوائية لـ *A. herba-alba* و *P. harmala* و أوراق *E. globulus*. تم تجريب المستخلصات الزيتية لنباتي الشيح و الأوكالبتوس مختلفة التراكيز (0.2 مكرو لتر, 0.4 مكرو لتر, 0.6 مكرو لتر و 0.8 مكرو لتر) على 9 أنواع من الأعشاب الضارة وصنفين من القمح الصلب (Waha و Mbb) مخبرياً. إن عائدت الزيوت المتحصل عليها هي 0.01%, 1.19% و 1.95% بالنسبة لنبات الحرمل, الشيح و الأوكالبتوس على التوالي. أظهر التركيب الكيميائي للزيتين الأساسيين لـ *A. herba-alba* و *E. globulus* هيمنة أحاديات التربين المؤكسجة والتي تمثل 83% و 40.52% على التوالي. تثبط الزيوت الأساسية المختبرة وبشدة إنتاش البذور ونمو النبيتات (LR و LPA) لمعظم الأعشاب الضارة وصنفي القمح المدروسة. يزداد التثبيط وفق زيادة تركيز الزيت, وهذه الزيادة ليست مماثلة نسبياً للنوعين. بينت هذه الدراسة ان الزيوت الأساسية المدروسة لديها إمكانات تضاد حيوية مثبطة بالغة الإهتمام.

كلمات مفتاحية: التضاد الحيوي, الزيوت الأساسية, *Eucalyptus*, *Artemisia herba-alba* Asso., *Peganum harmala* L., *globulus* Labill., الأعشاب الضارة.

Résumé

Plusieurs espèces végétales produisent des molécules capables d'inhiber la germination et la croissance des plantes avoisinantes. Ce phénomène nommé allélopathie offre des perspectives intéressantes pour la gestion des adventices des cultures. Afin de rechercher des produits naturels d'origine végétale qui peuvent avoir une action herbicide, nous avons choisie trois espèces végétales (*Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. et *Eucalyptus globulus* Labill.) pour évaluer le potentiel allélopathique de leurs huiles essentielles sur la germination des graines et le développement des plantules de quelques espèces adventices des cultures. Les huiles essentielles sont extraites par hydrodistillation à partir des parties aériennes d'*A. herba-alba* et *P. harmala* et les feuilles d'*E. globulus*. Les extraits huileux d'Armoise blanche et d'Eucalyptus globuleux de différentes concentrations (0.2µl, 0.4µl, 0.6µl et 0.8µl) sont testés sur neuf espèces adventices et deux variétés de blé dur (Waha et Mbb) dans les conditions de laboratoire. Les rendements des huiles obtenues sont de l'ordre de 0.01%, 1.19% et 1.95% pour l'Harmel, l'Armoise blanche et l'Eucalyptus respectivement. La composition chimique des HE d'*A. herba-alba* et d'*E. globulus* est dominée par les monoterpènes oxygénés qui représentent 83% et 40.52% respectivement. Les HE testées inhibent fortement la germination des graines et la croissance des plantules (LPA et LR) de la majorité des adventices et variétés de blé étudiées. L'inhibition augmente lorsque la concentration de l'huile augmente, cette augmentation n'est pas comparativement similaire pour les deux espèces. Cette étude a montré que les HE étudiées possèdent un potentiel allélopathique inhibiteur intéressant.

Mots clés : Allélopathie, Huiles essentielles, *Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso., *Eucalyptus globulus* Labill., Adventices.

Abstract

Several plant species produce molecules able of inhibiting the germination and growth of neighboring plants. This phenomenon called allelopathy, offers interesting prospects for the management of crop weeds. In the order to search for natural products of plant origin which may have an herbicidal action, we have chosen three plant species (*Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. and *Eucalyptus globulus* Labill.) to assess the allelopathic potential of their essential oils on seed germination and seedling growth of some crop weed species. Essential oils are extracted by hydrdistillation from the aerial parts of *A. herba-alba* and *P. harmala* and the leaves of *E. globulus*. The oily extractions of White worm wood and Eucalyptus of different concentrations (0.2µl, 0.4µl, 0.6µl and 0.8µl) are tested on nine weed spices and two varieties of durum wheat (Waha and Mbb) under laboratory conditions. The yields of the oils obtained are of the order to 0.01%, 1.19% and 1.95% for Harmal, White worm wood and Eucalyptus respectively. The chemical composition of essential oils of *A. herba-alba* and *E. globulus* is dominated by oxygenated monoterpenes which represent 83% and 40.52% respectively. The tested essential oils strongly inhibit seed germination and seedling growth (LPA and LR) of the majority of the weeds and wheat varieties studied. The inhibition increases as the oil concentration increases, this increase is not comparatively similar for the two species. This study showed that the studied essential oils have an interesting allelopathic inhibitory potential.

Keywords: Allelopathy, Essential oils, *Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso., *Eucalyptus globulus* Labill., Weeds.

Liste des abréviations

%: pourcent.
µl: microlitre.
ANOVA: analysis of variance.
C°: degré celsius.
C1 x V1: concentration 1 x volume 1.
C2 x V2: concentration 2 x volume 2.
CEB: commission des essais biologiques.
CG/SM: chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse.
CIRAD: centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
cm: centimètre.
ddl: degré de liberté.
FAO: food and agriculture organization.
Fid: détecteur à ionisation de flamme.
fig: figure.
HE: huile essentielle.
ILPA: inhibition de la longueur de la partie aérienne.
ILR: inhibition de la longueur racinaire.
IPG: inhibition du pourcentage de germination.
Km: kilomètre.
LPA: longueur de la partie aérienne.
LR: longueur racinaire.
m: mètre.

min: minute.

N°: numéro.

Nb: nombre.

P/P: poids/poids

PG: pourcentage de germination.

tab: tableau.

Tr: temps de rétention.

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Nombre de semences par pied mère pour quelques espèces de mauvaises herbes (Mamarot et Rodriguez, 2014).	8
02	Longévité maximale des semences de quelques mauvaises herbes (Roberts 1982, <i>In</i> anonyme 01, 2014).	8
03	Composition chimique de l'huile essentielle d' <i>A. herba-alba</i> Asso.	45
04	Composition chimique de l'huile essentielle d' <i>E. globulus</i> Labill.	48
05	Classes chimiques des huiles essentielles d' <i>Artemisia herba-alba</i> et <i>Eucalyptus globulus</i> .	51
06	Effet des HE d' <i>A. herba-alba</i> Asso. et d' <i>E. globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d' <i>Ammi visnaga</i> Lamk.	53
07	Effet des HE d' <i>A. herba-alba</i> Asso. et d' <i>E. globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d' <i>Avena fatua</i> L.	55
08	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Bromus madritensis</i> L.	57
09	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Diploaxis tenuifolia</i> L.	59
10	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d' <i>Hordeum murinum</i> L.	61

11	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Mantisalca salmentica</i> (L.) Briq. & Cavill.	62
12	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Scorzonera laciniata</i> L.	64
13	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Sylibum marianum</i> (L.) Gaertn.	66
14	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Sinapis arvensis</i> L.	68
15	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Mbb.	70
16	Effet des HE d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Waha.	72
17	Espèces adventices et variété de blé par sensibilité vis-à-vis l'HE d' <i>A. herba alba</i> (IPG, ILR et ILPA >60%).	83
18	Espèces adventices et variétés de blé par sensibilité vis-à-vis l'HE d' <i>E. globulus</i> (IPG, ILR et ILPA >60%).	84

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Types de nuisibilité des mauvaises herbes dans les cultures d'après Chiarrapa (1981) In Chiarappa,(1981)In Caussanel, (1989).	9
02	Les grandes voies de synthèse des métabolites secondaires et relation avec le métabolisme primaire d'après Chiapusio et <i>al.</i> , (2008).	15
03	Voies de libération des molécules allélopathiques d'après Chiapusio et <i>al.</i> (2008).	18
04	Mécanismes d'action des allélochimiques d'après Muhammad et <i>al.</i> (2019).	21
05	Spectre de Fid de l'huile essentielle de l'A. <i>herba-alba</i> Asso.	46
06	Spectre de Fid de l'huile essentielle d' <i>E. globulus</i> Labill.	49
07	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d' <i>E. globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d' <i>Ammi visnaga</i> Lamk.	53
08	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d' <i>E. globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d' <i>Avena fatua</i> L.	55
09	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d' <i>E. globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Bromus madritensis</i> L.	57
10	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d' <i>E. globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Diploaxis tenuifolia</i> L.	59

11	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d'E. <i>globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d' <i>Hordeum murinum</i> L.	61
12	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d'E. <i>globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Mantisalca salmentica</i> (L.) Briq. & Cavill.	62
13	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d'E. <i>globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Scorzonera laciniata</i> L.	64
14	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d'E. <i>globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Sylibum marianum</i> (L.) Gaertn.	66
15	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d'E. <i>globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de <i>Sinapis arvensis</i> L.	68
16	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d'E. <i>globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Mbb.	70
17	Effet inhibiteur des HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. et d'E. <i>globulus</i> Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Waha.	72
18	Effet de l'HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. 0.2 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	74
19	Effet de l'HE d'A. <i>herba-alba</i> Asso. 0.4 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	74

20	Effet de l'HE d' <i>A. herba-alba</i> Asso. 0.6 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	76
21	Effet de l'HE d' <i>A. herba-alba</i> Asso. 0.8 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	76
22	Effet de l'HE d' <i>E. globulus</i> Labill. 0.2 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	78
23	Effet de l'HE d' <i>E. globulus</i> Labill. 0.4 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	78
24	Effet de l'HE d' <i>E. globulus</i> Labill. 0.6 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	80
25	Effet de l'HE d' <i>E. globulus</i> Labill. 0.8 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.	80

Liste des photos

Photo	Titre	Page
01	<i>Peganum harmala</i> L.	29
02	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	30
03	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	31
04	Montage de l'hydrodistillateur de type Clevenger.	35
05	Graines de <i>Bromus madritensis</i> traitées avec l'Eucalyptus 0.4µl, l'eau distillée et l'Armoise blanche 0.4µl de gauche à droite après 10 jours d'incubation.	40
06	Graines de blé de la variété Mbb traitées avec l'eau distillée après deux jours d'incubation.	41
07	Graines de <i>Mantisalca salmentica</i> traitées avec l'eau distillée après deux jours d'incubation.	41
08	Mesure de la longueur de la racine et de la partie aérienne d'une plantule d' <i>Avena fatua</i> traitée par l'eau distillée.	42

Table des matières

	Page
Remerciements	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photos	
Introduction	1
 Chapitre I: Synthèse bibliographique Première partie: les adventices	
1. Notion des adventices	4
2. Importance agronomique des adventices	4
3. Facteurs de développements et distribution de la flore adventice	5
4. Capacité d'adaptation des adventices	6
5. Nuisibilité due aux adventices	7
6. Moyens de lutte contre les mauvaises herbes	9
7. La maîtrise biologique de la flore adventice	10
 Deuxième partie: l'allélopathie	
1. Notion de l'allélopathie	12
2. Composés allélopathiques ou allélochimiques	13
3. Métabolites secondaires impliqués dans le phénomène allélopathie et les huiles essentielles.	14
3.1 Les composés phénoliques	14
3.2 Terpénoïdes	15
3.3 Alcaloïdes	16
3.4 Les huiles essentielles	16

4. Voies de libération des composés allélopathiques	17
5. Facteurs influençant la production des composés allélochimiques	17
6. Modes d'action des composés allélochimiques	19
6.1 Les effets primaires et secondaires des composés allélopathiques	20
7. Signification écologique des substances allélochimiques	22
7.1 Dans les milieux naturels	22
7.2 Dans les essais biologiques	24
8. L'allélopathie et la lutte contre les adventices	25
9. L'allélopathie est un domaine de recherche multidisciplinaire	27
10. Difficultés de mise en évidence des effets allélopathiques au champ	27

Chapitre II: Matériel et méthodes

1. Récolte et préparation du matériel végétal	29
1.1 Espèces utilisées pour l'extraction des huiles essentielles	29
1.1.1 <i>Peganum harmala</i> L.	29
1.1.2 <i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	30
1.1.3 <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	31
1.1.4 Le séchage et conservation des plantes	32
1.2 Récolte des semences des adventices	32
2. L'expérimentation au laboratoire	34
2.1 Les huiles essentielles	34
2.1.1 Extraction des huiles essentielles	34
2.1.2 Analyses chromatographiques des huiles essentielles	35
2.1.3 Préparations des dilutions huileuses	36
2.2 Les tests de germinations	36
2.2.1 La désinfection des semences des adventices et variétés de blé	37
2.2.2 Les tests préliminaires de germinations	37
2.2.2.1 Taux et durée de germination des graines	37
2.2.2.2 Effet d'éthanol sur la germination des graines	38
2.2.3 Les tests finaux de germination	39

2.2.3.1 Détermination des pourcentages de germination	39
2.2.3.2 Mesures des longueurs des racines et des parties aériennes	40
3. Analyse statistique des données	42

Chapitre III: Résultats et discussion

1. Rendement et composition chimique des huiles essentielles	44
1.1 L'huile essentielle de <i>Peganum harmala</i> L.	44
1.2 L'huile essentielle d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	44
1.3 L'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	47
1.4 Classes chimiques des huiles essentielles	50
2. Effets des huiles essentielles d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. sur la germination des espèces adventices et du blé dur	52
2.1 Effet des huiles essentielles sur les espèces adventices	52
2.1.1 Effet sur le fenouil annuel (<i>Ammi visnaga</i> Lamk)	52
2.1.2 Effet sur la folle avoine (<i>Avena fatua</i> L.)	54
2.1.3 Effet sur le brome de Madrid (<i>Bromus madritensis</i> L.)	56
2.1.4 Effet sur la roquette sauvage (<i>Diplotaxis tenuifolia</i> L.)	56
2.1.5 Effet sur l'orge des rats (<i>Hordeum murinum</i> L.)	58
2.1.6 Effet sur la centaurée de salamanque (<i>Mantisalca salmentica</i> (L.) Briq. & Cavill)	60
2.1.7 Effet sur la galinette (<i>Scorzonera laciniata</i> L.)	63
2.1.8 Effet sur le chardon- marie (<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.)	65
2.1.9 Effet sur la moutarde des champs (<i>Sinapis arvensis</i> L.)	67
2.2 Effet des huiles essentielles sur les variétés de blé dur	69
2.2.1 Effet sur la variété Mbb	69
2.2.2 Effet sur la variété Waha	71
3. Comparaison des pourcentages d'inhibition entre toutes les espèces (adventices et variétés blé dur)	73
3.1 L'effet de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	73
3.1.1 À la concentration 0.2 µl	73
3.1.2 À la concentration 0.4 µl	75
3.1.3 À la concentration 0.6 µl	75

3.1.4 À la concentration 0.8 µl	75
3.2 L'effet de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	77
3.2.1 À la concentration 0.2 µl	77
3.2.2 À la concentration 0.4 µl	77
3.2.3 À la concentration 0.6 µl	79
3.2.4 À la concentration 0.8 µl	79
4. Evaluation du potentiel allélopathique des huiles essentielles d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso. et d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	81
4.1 Potentiel allélopathique de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	81
4.2 Potentiel allélopathique de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	81
5. Discussion	85
Conclusion	94
Références bibliographiques	97
Annexes	I-XI

Introduction

Introduction

L'une des contraintes de la production agricole végétale est la concurrence des mauvaises herbes. Ces espèces sont nuisibles à tous les stades de développement de la culture. Elles absorbent les mêmes éléments nutritifs que les plantes cultivées et utilisent également les ressources comme l'eau, la lumière et l'espace qui auraient pu servir aux cultures. Ces adventices servent également d'hôtes ou réservoirs de déprédateurs et exercent des phénomènes d'allélopathie sur les plantes cultivées. Tous ces caractères impactent le rendement et la qualité de la production des cultures (Kouakou et *al.*, 2016).

La production agricole doit augmenter de 60% pour nourrir une population mondiale qui devrait atteindre 9,7 milliards d'ici 2050 (FAO, 2017). En parallèle, les pertes de récoltes dues aux mauvaises herbes continuent de réduire la production mondiale disponible. D'après Djabran et *al.* (2015), ces pertes sont estimées à 34%. Elles sont de l'ordre de 20 à 30 % dans les céréales (Moussaoui et *al.*, 2017). Les mauvaises herbes causent des pertes pouvant atteindre 70% dans les rizières et peuvent également toucher d'autres cultures telles que le coton, le maïs et la pomme de terre (Rial et *al.*, 2014).

L'influence des adventices sur la culture favorise l'intérêt des agriculteurs pour l'adoption des herbicides dans la lutte chimique (Olina Bassala, 2010). Alors qu'il faut réduire l'emploi des herbicides pour des raisons environnementales, sanitaires et règlementaires (Colbach et *al.*, 2016). Ainsi l'augmentation des phénomènes de résistance aux herbicides accélèrent la demande des moyens de lutte alternatives (Dessaint et *al.*, 2001; Weih et *al.*, 2008; Duhoux, 2011).

Une alternative potentielle et compatible avec l'agriculture biologique serait l'utilisation de molécules naturelles (Nay et Zhang, 2019). L'allélopathie est considérée comme une technique prometteuse pour la lutte biologique. Elle est l'émission de substances antagonistes ou toxiques dans le milieu ambiant par des végétaux (morts ou vivants) empêchant l'implantation ou le développement d'autres espèces (Mamarot et Rodriguez, 2014).

L'allélopathie constitue vraisemblablement un des aspects de la nuisibilité de certaines mauvaises herbes. C'est un processus impliquant des métabolites secondaires (allélochimiques), il a été largement utilisé pour protéger les cultures et remplacer les

herbicides, fongicides et insecticides (Bhadoria, 2011). Donc une meilleure maîtrise de l'allélopathie pourrait offrir des perspectives intéressantes pour la gestion de la flore spontanée des parcelles cultivées; par exemple en utilisant des plantes allélopathiques comme couverture végétale, en sous-semis ou comme culture intercalaire "nettoyante" (Delabays, 2006).

L'utilisation de l'effet allélopathique de certaines plantes qui produisent des huiles essentielles contenant des composés pouvant agir comme des herbicides naturels, est une nouvelle stratégie de désherbage (Lefebvre et *al.*, 2012; Atak, 2015; Moussaoui et *al.*, 2017; Pinto et *al.*, 2018; Grulová et *al.*, 2019; Sarić-Krsmanović et *al.*, 2019; Sumalan et *al.*, 2019; Ben Kaab, 2020).

Malgré que les pertes des rendements causées par les mauvaises herbes (32%) sont supérieures à celles causées par les parasites (18%) ou les agents pathogènes (15%) (Van Evert et *al.*, 2017), les bioherbicides ne représentent que 1% des produits de biocontrôle actuels, alors que les bio-insecticides viennent en première position (46%), suivis des biofongicides (44%) (Ben Kaab, 2020). La lutte biologique contre les adventices des cultures reste relativement peu développée.

À notre connaissance, il existe peu d'études du moins en Algérie sur les effets allélopathiques des huiles essentielles sur la germination et le développement des espèces adventices. Et pour réduire l'utilisation des herbicides chimiques, un grand intérêt a été porté aux agents de lutte biologique et aux produits botaniques respectueux de l'environnement qui préservent la biodiversité. Dans ce contexte, cette étude visait à:

- ✓ Rechercher un moyen de lutte biologique contre les adventices des cultures.
- ✓ Valider la nouvelle stratégie de désherbage en utilisant l'effet allélopathique des huiles essentielles d'ordre végétal.
- ✓ Découvrir des bioproduits (molécules chimiques) d'origine végétale, utilisés dans le contrôle biologique de l'enherbement des cultures dans la production agricole.
- ✓ Évaluer (*in vitro*) le pouvoir allélopathique des huiles essentielles de *Peganum harmala* L., *Antemisia herba-alba* Asso. et *Eucalyptus globulus* Labill. sur la germination des semences et la croissance des plantules de quelques espèces adventices, et deux variétés de blé dur récoltées dans la région de Sétif.

Dans ce cadre, notre manuscrit est subdivisé en trois chapitres.

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique sur les adventices des cultures d'une part, et les connaissances actuelles sur l'allélopathie et son utilisation dans la lutte contre l'enherbement des cultures d'autre part.

Le deuxième chapitre est consacré aux matériel et méthodes utilisés. Nous avons présenté le matériel végétal utilisé: 03 espèces allélopatiques, 09 espèces adventices et 02 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Egalement, les méthodes suivies dans l'extraction des huiles essentielles, leurs analyses chromatographiques, les tests de germinations et les analyses statistiques des données sont exposées.

Les résultats obtenus sur les rendements des huiles essentielles, leurs compositions chimiques et leurs effets inhibiteurs sur la germination et la croissance des plantules, sont présentés et discutés dans le troisième et le dernier chapitre.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Première partie: les adventices

Les racines du conflit enregistrées entre les humains et les mauvaises herbes s'étendent sur plus de 6000 ans avant J.C. Cela est montré en Chine dans le livre Zhou Protocol (livre il y a environ 2200 ans), enregistrant l'existence d'anciennes fonctions officielles de désherbage, ainsi que des anciennes chansons populaires chinoises décrivant les outils de pureté et les méthodes de contrôle des mauvaises herbes dans les champs. Le concept de mauvaises herbes a commencé à se manifester avec le début de la civilisation de l'homme ancien, sa stabilité dans des endroits spécifiques, sa recherche continue de nourriture appropriée et son travail de la conduite de l'emplacement de la nourriture en supprimant et coupant toutes les plantes qui gênent son chemin et ne lui sont pas bénéfiques, après les enregistrées dans sa mémoire en tant qu'espèces indésirables. C'est ce qu'on appelle les adventices (El-Tahan, 2019).

1. Notion des adventices

Les adventices sont définies comme « toutes plantes qui se développent spontanément dans les milieux modifiés par l'homme » (Godinho 1984; Brunel et al., 2005). Les adventices des cultures ou bien mauvaises herbes sont l'ensemble des plantes qui se développent dans une parcelle agricole autre que l'espèce cultivée (Friry, 2013). Le terme "mauvaise herbe" fait donc intervenir une notion de nuisance, et dans les milieux cultivés en particulier, toute espèce non volontairement semée est une " adventice " qui devient " mauvaise herbe " au-delà d'une certaine densité, c'est à dire dès qu'elle entraîne un préjudice qui se concrétise, en particulier, par une baisse du rendement (Barralis, 1984). Selon Triplet (2015), les mauvaises herbes sont des plantes vigoureuses, envahissantes, se disséminent facilement et poussent généralement au détriment des plantes cultivées.

2. Importance agronomique des adventices

Les adventices sont considérées comme une contrainte biotique importante pour la production alimentaire, elles représentent un frein important à l'augmentation de la productivité des agriculteurs, en particulier dans les pays en développement (FAO, 2013). Elles sont indésirables dans les milieux cultivés par ce qu'elles interfèrent avec

les cultures par une concurrence directe pour la lumière, l'eau, et les éléments nutritifs, mais aussi en raison de la difficulté de récolte par bourrage des machines, du salissement de la récolte et du sol (stock de graines) (Gazoyer et *al.*, 2002; Araniti et *al.*, 2011; Kouakou et *al.*, 2016). Les mauvaises herbes déprécient la qualité des récoltes par l'augmentation du pourcentage d'impuretés dans les récoltes, par le goût et l'odeur désagréable, et par la présence de semences toxiques. Elles créent, de plus, un milieu favorable au développement des maladies et ravageurs (Alhaithloul, 2019).

Les pertes occasionnées par les adventices à l'échelle mondiale sont estimées à 34% des récoltes (Djabran et *al.*, 2015). Elles réduisent le rendement des céréales de 20 à 30% (Moussaoui et *al.* 2017). Selon la FAO (2013), les pertes varient suivant les cultures, elles sont de l'ordre de 7.7%-23% chez le blé, 10.2%-37.1% dans les rizières, 10.6%-40.3% pour le maïs, 8.3%-30.2% chez la pomme de terre et 7.5%-37% pour le soja. Au niveau Européen cette estimation est de 7% (Silvy, 1999). Dans le monde en développement ces pertes sont toujours de moins de 15% par an, en Afrique, elles peuvent atteindre 50 à 60% dans les zones céréalières fortement infestées par les mauvaises herbes (Labrada, 1992). En Algérie et en Afrique du Nord, les pertes occasionnées par ce fléau sur le blé sont de 25 à 50% de la production potentielle de la culture (Agrichem, 2019). Elles représentent, dans la région de Sétif, 25 à 30% de la production potentielle des céréales.

3. Facteurs de développements et distribution de la flore adventice

La flore adventice de chaque parcelle est unique car à la fois propre à une région et à son pédo-climat, mais aussi à un historique de culture complexe incluant des pratiques de désherbage chimique et/ou mécanique et des façons culturales (Reboud et *al.*, 2013). Plusieurs espèces adventices aient une distribution géographique et écologique particulière, ce sont les systèmes de culture et les techniques culturales qui ont la plus grande indice sur la répartition des adventices (Gazoyer et *al.*, 2002), D'après Freid et *al.* (2008) la présence d'une mauvaise herbe étant à la fois liée à un environnement écologique (sol, climat) et à un environnement agronomique (pratiques culturales), c'est à travers le changement de ces environnements que l'on peut tenter de quantifier les impacts des changements de l'agriculture. Selon Bertrand et Doré (2008), l'évolution qualitative et quantitative de la flore adventice à l'échelle parcellaire est sensible à des modifications de plusieurs variables du milieu et des systèmes de culture. Egalement, le

développement et la nuisibilité des flores adventices résultent d'interactions complexes entre peuplement cultivé et adventices sous l'effet des techniques culturales et des conditions du milieu (De Tourdonnet et *al.*, 2008). Selon Alhaithloul (2019), la composition floristique et la distribution des espèces de mauvaises herbes dans un champ sont différentes en raison de la nature des cultures, des pratiques agricoles, de type de sol, de la disponibilité de l'humidité, du climat et d'autres facteurs externes et biologiques.

4. Capacité d'adaptation des adventices

Les mauvaises herbes ou adventices ont tendance à se développer au sein d'une parcelle cultivée selon deux modes de propagation: de manière isolée ou en agrégats (Cardina et *al.*, 1997). Ces modes sont fortement dépendants des travaux agricoles effectués sur la parcelle, mais aussi du mode de reproduction des plantes (sexué ou multiplication végétative). Le travail du sol favorise la dissémination des graines dans le sens de travail de la parcelle, créant des agrégats de forme ovale mais il peut également répartir de manière aléatoire les racines, les graines qui vont rester accrochées aux outils à dents (tels que charrue), le temps d'être déposées plus loin dans la parcelle. Concernant le mode de reproduction des plantes, celui-ci va également avoir une influence importante sur la répartition des adventices: les plantes dites « annuelles » vont voir la distribution spatiale de leur semence conditionnée soit par le vent (qui pourra apporter une répartition aléatoire) soit par le labour qui va étirer cette distribution en suivant un modèle de type agrégatif. Au contraire, les plantes dites « vivaces », qui n'ont besoin que d'un morceau de végétal pour se reproduire vont avoir une répartition spatiale plus aléatoire, dû aux différents travaux agricoles réalisés sur la parcelle qui les disséminera (Jones, 2009).

La capacité des adventices à devenir envahissantes dépend d'un certain nombre de caractères adaptés au contexte agricole. Elles sont adaptées aux mêmes sols, aux mêmes conditions climatiques que les plantes cultivées et aux pratiques culturales. Le développement des adventices dépend d'un certain nombre de caractères phéno-morphophysiologiques (CIRAD, 2001), parmi lesquels;

- ✓ Ressemblance morphologique et/ou physiologique avec les plantes cultivées.
- ✓ La maturité des grains synchrone avec la récolte.

- ✓ Germination discontinue.
- ✓ Multiplication végétative.
- ✓ Système de fécondation généralement auto compatible.
- ✓ Polymorphisme des graines et des besoins germinatifs.
- ✓ Dormance induite/innée.
- ✓ Une production de graine importante (tab. 01) en conditions favorables, mais également possible en conditions de stress.
- ✓ Croissance rapide au stade plantule et végétative vers la phase de reproduction.
- ✓ Forte capacité d'acclimatation en conditions variables (plasticité phénotypique et génotypiques). Forte longévité des semences (tab. 02).

Par rapport aux espèces cultivées, la variabilité génétique des espèces adventices leur confère une capacité plus importante d'adaptation à de nouvelles conditions climatiques. D'autres effets du changement climatique (modification des régimes de pluviométrie, etc.) pourront aussi influencer sur la dynamique des adventices (Arvalis, 2013).

5. Nuisibilité due aux adventices

Le concept de nuisibilité englobe deux sortes d'effets, ceci s'explique par une nuisibilité due à la flore potentielle: dont il faudrait tenir compte, si pour chaque espèce, chacun des organes de multiplication conservés dans le sol à l'état de repos végétatif (semences, bulbes, tubercules, etc..) donnait un individu à la levée, et une nuisibilité due à la flore réelle: c'est-à-dire aux plantes qui lèvent réellement au cours du cycle de la culture. Ces deux concepts montrent clairement les dégâts causés par les mauvaises herbes, et leur effet sur la productivité et le rendement des cultures (fig. 01) (Caussanel, 1989).

Selon Cordeau et *al.* (2016 a), la nuisibilité des adventices dans une culture annuelle a été caractérisée dans la littérature scientifique française selon trois grands types; (i) nuisibilité primaire directe, quand les adventices concurrencent par compétition ou réduisent par allélopathie la croissance et/ou le développement de la plante cultivée; (ii) nuisibilité primaire indirecte, quand les plantes adventices diminuent l'état sanitaire de la culture ou la qualité de la récolte ou augmentent le coût des travaux culturaux, etc... ; (iii) la nuisibilité secondaire, quand les plantes adventices grainent et réalimentent le stock semencier du sol, pouvant conduire à amplifier la nuisibilité les années suivantes.

Tableau 01 : Nombre de semences par pied mère pour quelques espèces de mauvaises herbes (Mamarot et Rodriguez, 2014).

Espèces	Nombre de semences par pied mère de mauvaises herbes
Folle avoine (<i>Avena fatua</i> L.)	250-500
Ray-grass d'Italie (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	3000-10 000
Vulpin des champs (<i>Alopecurus myosuroides</i> Hudson)	500-3000
Anthémis élevée (<i>Anthemis altissima</i> L.)	10 000
Anthémis cotule (<i>Anthemis cotula</i> L.)	5000- 10 000
Matricaire camomille (<i>Matricaria recutita</i> (L.) Raushert)	20 000- 30 000
Moutarde des champs (<i>Sinapis arvensis</i> L.)	1000-5000
Rapistre rugeux (<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) Tous.)	1000-2000
Ravenelle (<i>Raphanus raphanistrum</i> L.)	500-1000
Rumex (<i>Rumex</i> sp.)	5000-10000
Panic pied de coq (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv.)	3000- 30 000
Renouée des oiseaux (<i>Polygonum aviculare</i> L.)	400- 1000
Morelle noire (<i>Solanum nigrum</i> L.)	3000- 10 000
Amarantes (<i>Amaranthus</i> sp.)	40 000- 120 000
Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i> L.)	2500- 30 000
Datura stramoine (<i>Datura stramonium</i> L.)	5000

Tableau 02 : Longévité maximale des semences de quelques mauvaises herbes (Roberts 1982, In anonyme, 2014).

Espèces	Années
Brome stérile (<i>Bromus sterilis</i> L.)	01 an
Véronique (<i>Veronica</i> sp.)	10 ans
Folle avoine (<i>Avena fatua</i> L.), Vulpin (<i>Alopecurus</i> sp.)	15 ans
Matricaire (<i>Matricaria</i> sp.)	20 ans
Gaillet (<i>Galium aparine</i> L.), Coquelicot (<i>Papaver rhoeas</i> L.)	40 ans
Stellaire (<i>Stellaria</i> sp.)	50 ans
Paturin annuel (<i>Poa annua</i> L.), Géranium (<i>Geranium</i> sp.), Chénopode (<i>Chenopodium</i> sp.)	> 50 ans
Renouée des oiseaux (<i>Polygonum aviculare</i> L.), Moutarde des champs (<i>Sinapis arvensis</i> L.)	60 ans

Touré, 2014). Le recours à la lutte intégrée, qui repose sur le travail du sol, l'installation de cultures de couverture et l'emploi d'herbicides efficaces, s'est révélé être le meilleur moyen de réduire les peuplements de mauvaises herbes (Anonyme, 2016).

Des études récentes ont montrées que la lutte intégrée est une importante composante d'une agriculture durable, du fait qu'elle minimise l'utilisation des produits chimiques de synthèse et encourage les alternatives biologiques. D'après Vermue (2014), il est possible de réduire les recours aux produits organiques de synthèse, en combinant les effets partiels de différentes pratiques agronomiques. La combinaison du semis direct, de la rotation des cultures, des résidus de surface, l'ajustement de la densité et l'arrangement de la fertilisation des cultures offre un contrôle supérieur des mauvaises herbes (Nichols et *al.*, 2015). Selon Pannacci et Tei (2014), la réduction de moitié de la quantité d'herbicide sans perte de contrôle des mauvaises herbes et de rendement des cultures, est possible grâce à la combinaison de binage et sarclage. Les méthodes de contrôle mécanique, physique et les stratégies de lutte non chimique contre les mauvaises herbes, sont les principaux outils de gestion des adventices (Pannacci et *al.*, 2017). Ainsi, la lutte biologique utilisant les biopesticides constitue un outil facilitant l'implantation de programmes de lutte offrant un équilibre acceptable entre le besoin de protéger les cultures et le respect simultané de l'environnement et de la santé humaine (Kouadria et *al.*, 2019).

7. La maîtrise biologique de la flore adventice

La réduction biologique des adventices peut être expliquée par l'action de différents facteurs: a. compétition pour la lumière, l'eau, l'espace et les nutriments (Bezuidenhout et *al.*, 2012 ; Kunz et *al.*, 2016). b. la libération des substances allélopathiques (Valantin-Morison et Meynard, 2008; Gfeller et Wirth, 2017).

L'allélopathie est l'ensemble de plusieurs interactions biochimiques directes ou indirectes, positives ou négatives. Elle fait intervenir des substances allélochimiques qui interviennent dans la communication interspécifique (Macias et *al.*, 2007). La libération de médiateurs chimiques peut avoir lieu alors que la plante productrice est vivante (allélopathie directe, par exemple par exsudation racinaire) ou au moment de la dégradation des résidus de la plante productrice, après la mort de celle-ci (allélopathie indirecte) (Farooq et *al.*, 2011; Kunz et *al.*, 2016). Ces médiateurs chimiques sont principalement des métabolites secondaires (terpènes, alcaloïdes, composés phénoliques

...) (Krief, 2003). Ils jouent un rôle écologique potentiel dans la lutte contre la compétition avec d'autres plantes, prédation et les attaques des agents pathogènes (Krief, 2003; Modnicki et *al.*, 2019).

Selon Bailey (2014), les bio-herbicides sont des produits d'origine naturelle permettant de lutter contre les mauvaises herbes. Ils représentent une alternative pertinente pour les agriculteurs. Leur efficacité à court terme est souvent moindre que les produits de synthèse (Cordeau et *al.*, 2016 b). D'autre part, en utilisant ces substances actives naturelles, la chaîne trophique écologique sera bien équilibrée et la biodiversité bien conservée (Dayan et *al.*, 2009 ; Bailey, 2014).

Deuxième partie: l'allélopathie

Dès l'antiquité, l'homme a observé que certains végétaux gênaient le développement d'autres espèces voisines: Théophraste (III^e avant. J.C.) remarquait que le pois chiche détruisait les mauvaises herbes, et Pline (I^e après. J.C.) que le noyer ne laissait pousser aucune plante sous son feuillage. Au siècle dernier, De Candolle suggéra que la fatigue des sols pourrait être due à des exsudats des cultures (De Raissac et *al.*, 1998). Ce phénomène qui a été connu depuis 2000 ans s'appelle allélopathie. Ce terme a été proposé pour la première fois en 1937 par le professeur Autrichien Hans Molish, composé de deux mots grec: allelon "l'un de l'autre" et pathos "souffrir" et signifie effet d'un organisme sur l'autre (Sodaeizadeh et Hosseini, 2012). L'allélopathie est appelée aussi parfois télétoxie (Mpondo et *al.*, 2012; Boutin, 2013; Bello et *al.*, 2019).

1. Notion de l'allélopathie

La notion de l'allélopathie porte sur différentes significations d'après les auteurs. Elle se définit comme tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur une autre par le biais de composés biochimiques libérés dans l'environnement (atmosphère et sol) (Rice, 1984). D'après Torres et *al.* (1996), elle comprend l'interférence chimique d'une espèce végétale avec la germination, la croissance ou le développement d'autres espèces végétales. Quand certaines plantes supérieures sont capables de réagir biologiquement en présence d'autres espèces, il s'agit de l'allélopathie (Boulard, 1997).

Au début du millénaire actuel, le concept de l'allélopathie s'est élargi et connu plusieurs indications. Delaveau (2001), considère l'allélopathie comme une maladie (patho: maladie), elle signifie l'interaction des substances chimiques bio-synthétisées par une plante avec d'autres organismes. Elle est d'après Inderjit et Callaway (2003), l'effet négatif des produits chimiques libérés par une espèce végétale sur le développement ou la reproduction d'une autre. Selon Machexi et *al.* (2005), l'allélopathie représente la compétition chimique qui peut exister entre des plantes de différentes espèces à l'intérieur d'une communauté végétale. Elle est l'effet direct ou indirect d'une plante sur une autre à travers la production de composés chimiques libérés dans l'environnement par les racines ou les résidus de récolte (Capillon, 2006).

L'allélopathie est définie par l' "International Allelopathy Society" comme tout processus impliquant des métabolites secondaires produits par les plantes, les algues, les bactéries et les champignons qui influe sur la croissance et le développement des systèmes agricoles et biologiques (Movellan et *al.*, 2012). Selon Mamarot et Rodriguez (2014), l'allélopathie est l'émission de substances antagonistes ou toxiques dans le milieu ambiant par des végétaux (morts ou vivants) et empêchant l'implantation ou le développement d'autres espèces. C'est un phénomène par lequel certains végétaux secrètent des substances qui inhibent la germination des graines ou la croissance d'autres végétaux présents dans leur voisinage (Triplet, 2015).

2. Composés allélopathiques ou allélochimiques

Les composés allélochimiques sont des substances organiques produites par une plante (Movellan et *al.*, 2012). Ils affectent le développement des plantes en voisinage de la plante émettrice (Lebecque, 2019). La plupart des allélochimiques sont des métabolites dits « secondaires » par opposition aux métabolites primaires qui sont les protéines, les glucides et les lipides. Ces composés peuvent être stockés dans une vacuole ou vésicule (détoxification ou réservoir en molécules), ou synthétisés dans les divers organes de la plante, et, souvent, produits seulement sur une durée spécifique du développement de la plante. Ils sont souvent synthétisés en situation de stress biotique ou abiotique (L'Etang, 2012).

Les métabolites secondaires diffèrent en fonction des espèces et, bien que leurs rôles soient encore mal connus, il est cependant clair qu'ils interviennent dans les relations qu'entretient la plante avec les organismes vivants qui l'entourent. Ils sont probablement des éléments essentiels de la coévolution des plantes avec les organismes vivants, tels que parasites, pathogènes et prédateurs, mais aussi pollinisateurs et disséminateurs. Ces différentes relations ont donné lieu à une extrême diversification des composés secondaires (Krief, 2003).

Selon Page et Grume (2014), les composés allélochimiques ont des effets analogues à ceux des herbicides. Plus largement, de nombreuses molécules d'origine végétale s'avèrent phytotoxiques, et pourraient donc servir d'herbicides naturels présentant potentiellement des modes d'actions nouveaux et une biodégradabilité plus élevée que les herbicides synthétiques traditionnels (Lebecque, 2019). Le principe d'action des bioherbicides est similaire aux mécanismes d'interactions hôtes/agents pathogènes et au

phénomène d'allélopathie (Triolet et *al.*, 2016). Les effets des allélochimiques d'une plante introduite pourraient être plus puissants contre les plantes non co-évoluées originaires de la zone réceptrice de la plante introduite (Jarchow et Bradley, 2009).

3. Métabolites secondaires impliqués dans le phénomène allélopathie et les huiles essentielles

La quasi-totalité des molécules caractérisées comme agents allélopathiques sont des métabolites secondaires végétaux. Ces métabolites se rencontrent généralement en faible quantités (moins de 1% du poids sec), dépendent fortement du stade physiologique et de développement de la plante (Akula et Ravishankar, 2011). Leur production peut être soit largement répandue soit limitée à certaines familles botaniques, ou à certains genres voir à certaines espèces particulières (Hopkins, 2003). Elles sont impliquées dans les mécanismes de défenses des plantes, elles contribuent aussi dans les processus de compétition inter et intraspécifiques des végétaux, dans les différents types d'associations et sont ainsi impliquées dans les phénomènes d'attractions (substances sémio-chimiques) (Croteau et *al.*, 2000).

L'extraordinaire diversité de métabolisme végétal est à l'origine de plusieurs dizaines de milliers de structures qui peuvent être classées en trois grandes catégories; les composés phénoliques, les terpénoïdes et les alcaloïdes. Ils dérivent principalement du métabolisme primaire via les molécules charnières comme l'acide shikimique, l'acétyl-CoA et l'acide mévalonique, et il existe donc des liens étroits entre les grandes fonctions physiologiques des végétaux (photosynthèse et respiration) et la production de métabolisme secondaires potentiellement allélopathiques (fig. 02) (Chiapusio et *al.*, 2008).

3.1 Les composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols forment une grande famille de composés chimiques très divers depuis les simples acides phénoliques jusqu'aux grands polymères complexes (Hopkins, 2003). Ils représentent 8000 molécules caractérisées, ils sont typiques des plantes vasculaires et constituent 40% du charbon organique dans la biosphère (Croteau et *al.*, 2000). Ils ont différentes fonctions dans les différentes espèces; défense contre les pathogènes (ex. lignanes), molécules de dissuasion alimentaire, attraction des pollinisateurs, présentent une source d'antioxydants

puissants, molécules qui donnent couleur, arômes, parfums aux plantes (ex. flavonoïdes) et un rôle structural (ex. lignine, constituante du bois) (Croteau et *al.*, 2000; Merouene et *al.*, 2014; Modnicki et *al.*, 2019).

3.2 Terpénoïdes

Les terpénoïdes, constituent le groupe de métabolites secondaires des plantes le plus abondant et le plus structurellement divers (plus de 23000 structures) (Cheng et *al.*, 2007). Ils sont formés par la polymérisation des unités à 5 atomes de carbone (isoprène). Ce sont des arômes volatiles, parfums, phytoalexines, hormones végétaux (ex. Gibbérelline), molécules avec action pharmacologique, stérols de membrane, certaines toxines, caroténoïdes (Croteau et *al.*, 2000). Les monoterpènes et les diterpènes, qui sont les principaux composants des huiles essentielles, agissent comme agents allélopathiques, attractifs dans les interactions plante-plante ou plante-pathogène / herbivore ou répulsifs (Grabmann, 2005).

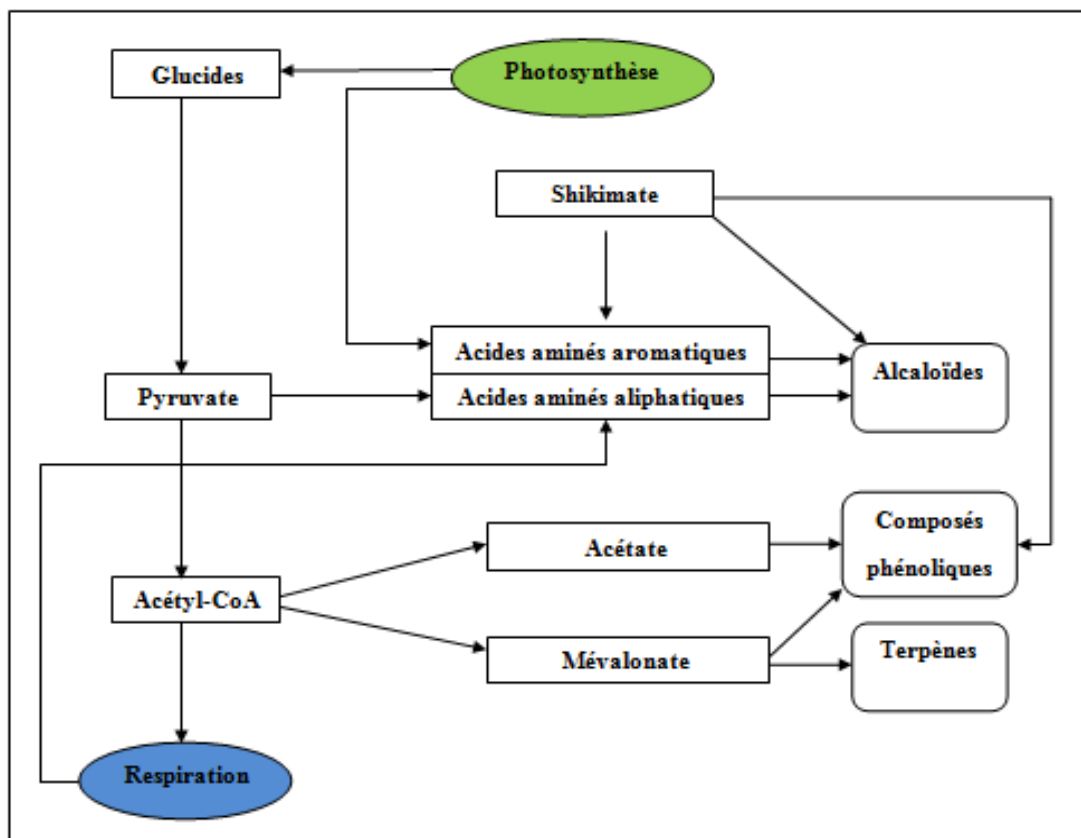


Figure 02: Les grandes voies de synthèse des métabolites secondaires et relation avec le métabolisme primaire d'après Chiapusio et *al.* (2008).

3.3 Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés hétérocycliques azotés et basiques, dérivent des acides aminés (tyrosine, tryptophane, ornithine, arginine, et lysine) (Yinyang et *al.*, 2014). Ils représentent un groupe de métabolites très diversifié avec 12000 molécules (Croteau et *al.*, 2000). Les alcaloïdes sont rencontrés chez 15 à 20% des plantes supérieures vasculaires. Le goût amer de ses substances en plus de leur toxicité, sont généralement suffisants pour repousser les herbivores, les insectes et les microorganismes. On retrouve dans ce groupe la morphine, la cocaïne et la mescaline qui sont des drogues puissantes, la quinine, la nicotine, la strychnine, etc. (Bourmita et *al.*, 2013).

3.4 Les huiles essentielles

Une huile essentielle ou essence est un produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage (Fillatre, 2011). Les huiles essentielles sont formées par les plantes aromatiques comme métabolites secondaires (Ben Kaab, 2020). En effet, elles sont considérées comme produits de déchets du métabolisme (Bekhachi et Abdelwahid, 2014). Leur profil chimique est constitué d'environ 20-60 composés à des concentrations différentes appartenant majoritairement à deux groupes. Il s'agit des terpènes et terpénoïdes, représentant la classe la plus importante et des composés aromatiques et aliphatiques qui sont, tous, des composés de faible poids moléculaire (Bakkali et *al.*, 2008). Elles sont produites en quantités minimales, entraînant des rendements d'extraction extrêmement faibles, peut varier généralement de 1 à 10% (Bekhachi et Abdelwahid, 2014).

Une huile essentielle peut être extraite de racines (iris, vétiver), de bulbes (ail) ou de rhizomes (gingembre). Elle peut aussi être issue de la tige (petits grains), du bois (rose, cèdre, santal) ou encore de l'écorce (cannelle). Les feuilles (eucalyptus, citronnelle), les bourgeons (pin), la sève (myrrhe) et même les fleurs (ylang-ylang, rose), les fruits (orange) et les graines (muscade, anis) sont des sources d'huiles essentielles. Pour certaines huiles essentielles comme celles de lavande ou de sauge, c'est la plante entière qui est utilisée (Fillatre, 2011).

Les huiles essentielles sont utilisées dans le domaine des parfums et cosmétiques, en pharmacie et aromathérapie, dans l'agro-alimentaire. En agronomie, elles représentent une alternative intéressante pour la protection des cultures contre les insectes mais également contre les adventices et les champignons (Dayan et *al.*, 2009).

La règne végétal offre une grande diversité permettant d'obtenir, aujourd'hui, 3 000 huiles essentielles parmi lesquelles environ 300 sont importantes d'un point de vue commercial (Fillatre, 2011). Ces huiles volatiles connues peuvent être allélopathiques et possèdent de nouveaux sites cibles différents des herbicides synthétiques utilisés dans le commerce et peut donc être utilisé pour la gestion des mauvaises herbes dans le cadre d'une agriculture durable (Bali et *al.*, 2016).

4. Voies de libération des composés allélopathiques

En général, les allélochimiques sont des molécules phytotoxiques, qui exercent leurs effets à des quantités faibles, mais constantes ou des concentrations croissantes sur des longues périodes (Duke, 2015). Ils sont émis dans l'environnement selon différents mécanismes illustrés par la figure 03. Volatilisation, lessivage, décomposition des résidus et exsudation racinaires (Chiapusio et *al.*, 2008). L'effet allélopathique peut être dû à un composé allélochimique ou à un mélange de molécules. Une fois libérés dans le sol, les propriétés physiques, chimiques et biologiques des allélochimiques changent (Latif et *al.*, 2016). En plus, les composés peuvent être transformés et dégradés par les microbes du sol (Massalha et *al.*, 2017).

Les composés volatiles émises par les parties vivantes de la plante, sont en particulier terpènes et éthylène (Xavier et Laurant, 1987; Bertin et *al.*, 2003).

L'exsudation racinaire correspond à l'émission par les racines d'un ensemble d'ions, d'enzymes, de mucilages, d'oxygène libre et divers composés contenant des métabolites primaires et secondaires, qui sont produits par la plante et diffusants dans le sol (L'Etang, 2012).

5. Facteurs influençant la production des composés allélochimiques

La production par une plante de molécules allélochimiques est influencée par différents facteurs intrinsèques et extrinsèques (Gfeller et wirth, 2017; Hashoum, 2017; Ben Kaab, 2020). Le premier facteur que l'on peut citer tient au génotype de la plante

considérée. Par exemple, les cultivars les plus récents des plants d'orge possèdent une faculté à produire la gramine (alcaloïde, molécule étant toxique pour de nombreux organismes) inférieure à celle des variétés ancestrales (Lebecque, 2019). Selon El-Beltaji et *al.* (2007), la production des composés phénoliques totaux et alcaloïdes de graines de cinq cultivars de Lin (Sakha 1, Sakha 2, Giza 8, Lithuania et Aryana) est nettement différente. Ainsi, le potentiel allélopathique de deux cultivars de Sorghos est différentiel, dont les composés phénoliques totaux sont deux fois plus élevés chez Enqath que Rabeah (Al-Khateeb et *al.*, 2017).

L'âge, le stade de développement et l'état phytosanitaire de la plante donneuse peuvent également influencer la production de composés allélochimiques. Wardle et *al.* (1993), montrent que le chardon penché (*Carduus nutans* L.) est allélopathique à deux

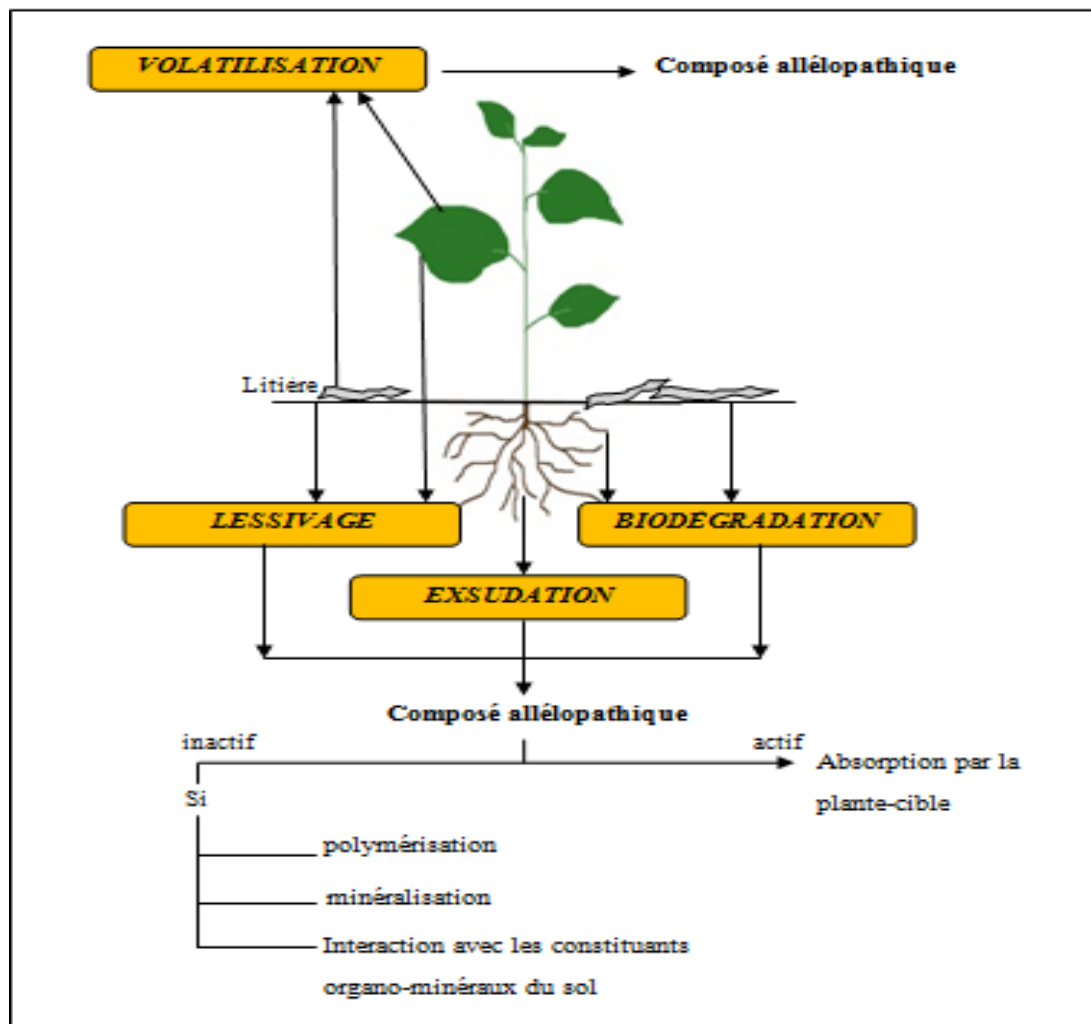


Figure 03: Voies de libération des molécules allélopathiques d'après Chiapusio et *al.* (2008).

phases de son développement, au stade montaison précoce quand les plus grandes feuilles de la rosette se décomposent et relâchent les inhibiteurs solubles, et au stade où les plantes montées meurent et relâchent les inhibiteurs insolubles.

Enfin, l'environnement de la plante peut lui aussi jouer un rôle modulateur dans le niveau d'expression de certains traits liés à l'allélopathie. Ces facteurs environnementaux peuvent être biotiques et abiotiques. Les caractéristiques physico-chimiques du sol jouent un rôle important dans la détermination de la persistance des allélochimiques dans les sols (Inderjit, 2005). L'un des principaux processus qui contrôle les niveaux toxiques des allélochimiques dans l'eau du sol est l'équilibre d'adsorption-désorption qui est, à son tour, fonction de différents facteurs du sol tels que le pH, la matière organique, l'humidité et la texture (Inderjit et al., 2000 ; Kobayashi, 2004). Les stress hydriques et thermiques peuvent augmenter la production des allélochimiques (Pedrol et al., 2006) et altérer les propriétés phytotoxiques des allélochimiques (Hashoum, 2017).

6. Modes d'action des composés allélochimiques

Le mode d'action de certains composés allélochimiques est similaire aux herbicides synthétiques mais beaucoup d'entre eux influencent plusieurs fonctions physiologiques chez la plante. Cela rend la résistance des plantes à ces allélochimiques plus difficile (Li et al., 2010). Ces composés agissent par de multiples voies comme l'inhibition de la division et de l'élongation cellulaire et de la synthèse des protéines, la modification de la perméabilité membranaire et de l'absorption minérale, la modification de la photosynthèse et de la respiration, ou bien encore par des interférences négatives avec les hormones de croissance. Ils peuvent également influencer la fixation biologique de l'azote, en diminuant le nombre et la taille des nodosités, leur teneur en leghémoglobine, et en réduisant la croissance des rhizobiums et de la culture hôte (Doré et al., 2004). En outre, les allélochimiques augmentent la production d'espèces réactives de l'oxygène et réduisent l'activité des enzymes antioxydantes qui conduit à la peroxydation lipidique et entraînent une croissance déséquilibrée des plantes (Zohaib et al., 2016).

Les effets phytotoxiques des monoterpénoïdes ont été rapportés par plusieurs auteurs (Zunino et Zygadlo, 2004; Salvatore, 2007; De Martino et al., 2010; Abdeljaleil et al. 2014; Pinto et al., 2018). Elles sont capables de provoquer l'inhibition de la respiration (réduction des mitochondries intracellulaire) et de la photosynthèse, la réduction de la

perméabilité des parois cellulaires, stress oxydatif dans les racines ce qui explique certains changements de la composition lipidique dans les tissus, aussi bien que l'accélération de la destruction oxydative des pigments chloroplastiques. Le pinène est un composant volatil émis par une large gamme de plantes aromatiques dont la faculté allélochimique est connue (Mercier et *al.*, 2009; Bali et *al.*, 2016; Qin et *al.*, 2019). L'artémisinine synthétisée et accumulée dans les feuilles d'*Artemisia*, est une lactone sesquiterpénique aux propriétés phytotoxiques, inhibant le développement racinaire des adventices (Delabays et *al.*, 2009). Elle interagit avec la mitose même à de très faibles concentrations chez certaines plantes (Gomez, 2011). Les composés allélochimiques, de nature phénolique, inhibent fortement la germination et la croissance de la plante cible. Certains composés altèrent la photosynthèse et le métabolisme mitochondriale et l'ensemble affecte le fonctionnement des stomates et interagit avec les phytohormones (Singh et *al.*, 2000; Rssaisi et *al.*, 2013). Certains d'autres composés, perturbent la nutrition azotée (Diallou et *al.*, 2015).

La sorgoleone est l'allélochimique le plus important synthétisé dans les racines du sorgho (Jabran, 2017 a). Il est toxique pour les mauvaises herbes graminées à des concentrations faibles (Yang et *al.*, 2004). La sorgoleone possède plusieurs modes d'action. Elle affecte les fonctions de réplication chloroplastiques (elle perturbe la biosynthèse des caroténoïdes entraînant un blanchiment foliaire), mitochondriales et cellulaires chez les plantes supérieures. Elle interrompt le transfert des électrons au sein du photosystème II elle peut perturber la respiration cellulaire, inhibe l'activité enzymatique en perturbant la biosynthèse des protéines et interrompt le cycle de réplication cellulaire (Dayan et *al.*, 2010; De Albuquerque et *al.*, 2011; Kato-Noguchi et Peters, 2013).

6.1 Les effets primaires et secondaires des composés allélopathiques

La réponse morphologique des plantes cible exposées aux substances allélopathiques, représente des effets secondaires (réduction de croissance, échec de germination des semences) de changements physiologiques et anatomiques qui ont lieu dans la cellule. Ces derniers représentent les effets allélopathiques primaires (sites d'action cellulaires des molécules allélopathiques). L'effet biologique du composé allélopathique et les symptômes observables chez la plante-cible n'est pas toujours facile à établir (Chiapusio et *al.*, 2008). Khaur et *al.* (2010), montrent que l'adventice

Echinochloa crus-galis est une cible photosynthétique et respiratoire pour les allélochimiques mono terpéniques de l'huile essentielle d'*Artemisia scoparia* Waldst et Kit, se traduit par une chlorose allant à une nécrose jusqu'au flétrissement complet des plantes et inhibition des pousses racinaires.

Les composés allélopathiques, affectent les plantes cibles soit de manière synergique ou néfaste en améliorant ou en supprimant leur croissance et leurs aspects physiologiques de développement (fig.04).

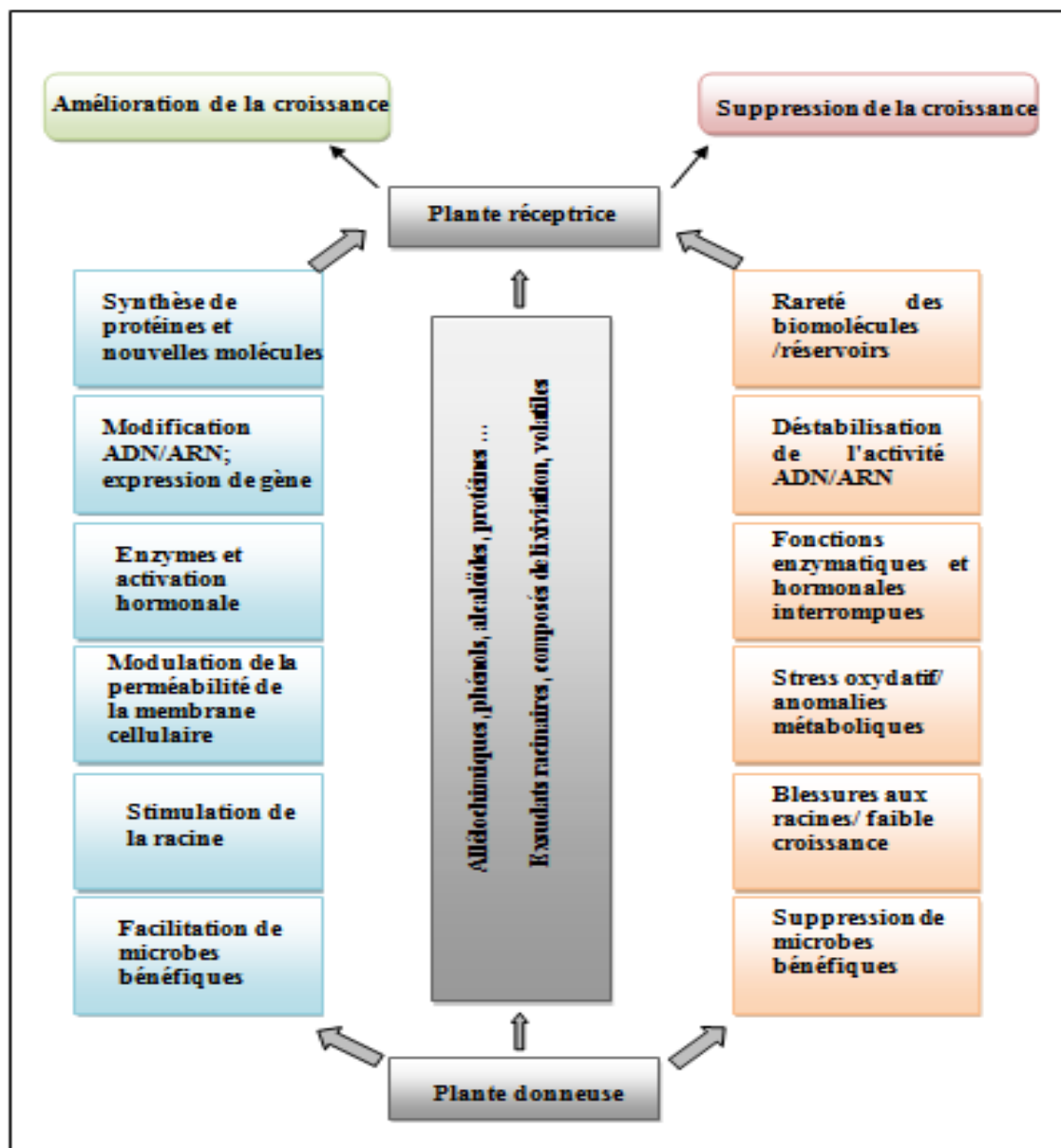


Figure 04: Mécanismes d'action des allélochimiques d'après Muhammad et *al.* (2019).

7. Signification écologique des substances allélochimiques

Au cœur des écosystèmes, les effets des communautés végétales sur les autres communautés d'organismes du sol varient selon leur production primaire (quantité et composition de litières et d'exsudats produits) (Freschet et *al.*, 2018). Les plantes interagissent entre elles de façon synergétique (on parlera de facilitation ou de complémentarité) ou au contraire de façon antagoniste (on parlera de compétition). Ces interactions au sein même de la communauté végétale sont considérées comme un « filtre », dit filtre biotique, qui élimine ou au contraire favorise certaines espèces. L'action de ce filtre pourrait être expliquée par les traits fonctionnels [un trait fonctionnel se définit comme toute caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique, mesurable à l'échelle de l'individu, sans référence à l'environnement, et intervenant dans la valeur adaptative, ou fitness, de l'espèce (Tardy, 2015)] des plantes censés refléter leur aptitude à interagir avec d'autres plantes (Walder et *al.*, 2015). Ces différents aspects permettent de souligner l'importance des allélochimiques, reflétant ces traits fonctionnels des plantes.

Le phénomène de l'allélopathie est observé entre plantes-plantes cultivées, spontanées ou entre les deux catégories (Pousset, 2009). Egalement, Il est observé entre plantes-insectes, plantes-microorganismes et entre microorganismes-microorganismes.

7.1 Dans les milieux naturels

Les interactions allélopathiques constituent en effet l'un des principaux processus biotiques jouant un rôle essentiel sur la diversité, la dynamique et le fonctionnement des écosystèmes, particulièrement dans les forêts méditerranéennes où les plantes présentent une grande diversité de métabolites secondaires. Haschoum (2017), a montré que l'arbre dominant *Quercus pubescens* et ses espèces compagnes *Acer monspessulanum* et *Cotinus coggygria* ont des potentialités allélopathiques, sur la germination et la croissance des plantes herbacées de sous-étage.

Dans les écosystèmes forestiers, l'installation de plantules est une phase critique fortement influencée par les interactions avec la végétation établie-compétition ou facilitation (Gavinet, 2016). L'effet allélopathique de la litière de 6 essences ligneuses méditerranéennes (*Rosmarinus officinalis* L., *Cistus albidus* L., *Pinus halipensis* Lill., *Quercus coccifera* L., *Quercus pubescens* Willd. et *Cotinus coggyria* Scop.) sur les

propriétés du sol et le développement des semis de chêne (*Quercus ilex* and *Quercus pubescens*) a été étudié par Gavinet et al. (2018). Ces litières avaient une chimie différente, en particulier la teneur en nutriments et en métabolites secondaires (terpènes et phénols). Les résultats obtenus montrent que les litières les plus riches en métabolites secondaires sont décomposées rapidement et ont stimulé la respiration microbienne ce qui a augmenté la teneur en azote et matière organique du sol sous-jacent. Mais aucune rétroaction sur la croissance des semis de chêne n'a été observée. Ces espèces sont donc peu sensibles à la litière et à la composition chimique bien qu'elles puissent réagir à plus long terme aux modifications du sol induites par la décomposition de la litière.

La régénération forestière est un processus clé de persistance des forêts. Walbott et al. (2018), montrent que les extraits foliaires de *Hedera helix* L. (Lierre grimpant), ont d'importants impacts allélopathiques sur la régénération de *Fagus sylvatica* L. (Hêtre commun). Cela suggère une limitation de régénération selon le type de voisinage végétal.

Pour les interactions entre plantes et microorganismes Tardy (2015), apporte de nouvelles connaissances et améliore la compréhension sur la capacité des plantes à moduler le fonctionnement microbien des sols en particulier celui du cycle de l'azote. Il montre que les plantes de (*Fallopia spp.*) peuvent inhiber la dénitrification par la libération de procyanidines de type B qui induisent en anaérobiose des modifications physiologiques chez les dénitrifiants. Ces composés affectent spécifiquement le fonctionnement de la NO₃-réductase transmembranaire par un changement conformationnel. Selon les sols, les communautés peuvent être plus ou moins sensibles notamment en fonction de leur exposition précédente à *Fallopia spp.*

Dans les milieux aquatiques, les interactions allélopathiques sont reconnues comme un facteur de la dynamique des communautés de phytoplancton. Allen (2016), montre qu'il existe des interactions allélopathiques entre les microorganismes dans les biofilms phototrophes d'eau douce. Il prouve que l'algue verte filamenteuse *Uronema confervicolum* à un effet négatif sur la croissance, la photosynthèse, l'adhésion et la motilité des diatomées. Deux acides gras polyinsaturés (acides linoléique et α -linoléique) ont été identifiés comme des composés allélopathiques inhibant la croissance et la photosynthèse des diatomées. L'inhibition de l'adhésion des diatomées est, par contre, causée par d'autres composés allélopathiques non identifiés.

L'augmentation de l'intensité lumineuse a accru la production de composés allélopathiques, à l'instar des composés défensifs des plantes. En plus de l'inhibition de l'adhésion, le filtrat d'*U. confervicolum* inhibe la formation de la matrice constituée de substances polymériques extracellulaires, impacte le métabolisme énergétique et induit une modification globale du transcriptome et du métabolome des diatomées. Une partie des gènes et métabolites les plus fortement impliqués dans la réponse des diatomées à l'inhibition de l'adhésion ont été identifiés.

La lutte contre le virus (*Capsicum chinense*) de la panachure du piment vert passe par la lutte contre l'insecte vecteur de ce dernier. Biao et al. (2018) ont montrés que les composés volatils émis d'ail et d'oignon entraînent la mort du puceron en l'empêchant de se poser et de s'alimenter sur sa plante hôte. L'efficacité de ces composés est principalement due aux constituants soufrés dont les propriétés anti-appétante, répulsive, insecticide, perturbatrice de ponte et de développement des larves.

7.2 Dans les essais biologiques

La réponse germinative des graines exposées aux allélochimiques issues des microorganismes ou de végétaux a été souvent évaluée dans des boîtes de Pétri dans les conditions de laboratoire. L'évaluation du potentiel allélopathique de la cyanobactérie toxique *Planktothrix rubescens* a été observée in-vitro par Oberhaus et al. (2008), ils suggèrent qu'elle peut potentiellement inhiber les concurrents coexistant ainsi que le phytoplancton isolé d'autres écosystèmes d'eau douce. Les allélochimiques cyanobactériens jouent un rôle très importants dans la structuration des communautés microbiennes aquatiques (Leão et al., 2012; Li et Li, 2012). Cette approche dévoile beaucoup d'informations liées au potentiel allélopathique d'une agression contre une espèce sensible.

Les composés organiques volatils sont issues du métabolisme secondaire de la plante, ils sont impliqués dans la communication avec les autres plantes et les insectes phytophages (Lamy, 2016). Le contrôle des effets allélopathiques dans des boîtes de Pétri est largement utilisé, il détermine à chaque fois l'activité biologique des composés allélochimiques. Cependant, ces effets ne se produisent pas nécessairement *in situ* à cause de l'interaction des facteurs environnementaux.

8. L'allélopathie et la lutte contre les adventices

L'utilisation non judicieuse des herbicides de synthèse pourrait entraîner des problèmes de résistance aux herbicides, à l'environnement et à la santé. Par conséquent, depuis deux décennies, l'accent est mis sur l'utilisation de substances organiques dérivées de plantes comme alternatives aux substances inorganiques herbicides pour le contrôle des mauvaises herbes. L'allélopathie est une approche écologique et biologique de gestion des mauvaises herbes, qui peut être utilisée comme outil de lutte contre les mauvaises herbes (Arif et *al.*, 2015). Selon Quenesson et Oste (2017), la couverture végétale du sol est exploitée en agriculture pour la gestion des adventices, grâce à l'allélopathie entre plantes.

L'allélopathie, suscite un intérêt grandissant, notamment en agriculture. En effet, ce phénomène pourrait être utilisé dans la gestion de la flore spontanée des parcelles cultivées, par exemple sous la forme de l'utilisation de couvertures végétales allélopathiques, des cultures intercalaires dans la rotation des cultures "nettoyantes", voir le développement de variétés cultivées limitant le développement des mauvaises herbes (Delabays, 2006; Delabays et *al.*, 2009), utilisation de paillis de surface, incorporation au sol de résidus végétaux, extraits aqueux allélopathiques et application combinée des extraits aqueux allélopathiques avec des doses d'herbicides plus faibles (Nawaz et *al.*, 2014).

Chez plusieurs grandes cultures, des effets allélopathiques sont connus, quelques allélochimiques responsables des effets observés ont été identifiés comme les momilactones A et B chez le riz, le DIMBOA chez le seigle et le blé, la sorgoleone chez le sorgho et des composés phénoliques chez le tournesol. Pour toutes ces cultures les effets allélopathiques sont très variables selon le cultivar (Gfeller et wirth, 2017). Les benzoxazinoïdes et les composés phénoliques sont les allélochimiques les plus importants que l'on trouve dans le maïs (*Zea mays* L.), le potentiel allélopathique de ces composés peut être utilisé pour supprimer les mauvaises herbes dans le maïs et d'autres cultures (Djabran, 2017 b).

Dans le cas du phénomène d'allélopathie, seules les molécules extraites de micro organismes (champignons, bactéries...) ou de plantes sont utilisées. Ce type de contrôle correspond au phénomène d'inhibition observable dans certaines parcelles, il a beaucoup d'intérêts pour le contrôle des mauvaises herbes dans les agro-écosystèmes. A

l'échelle mondiale, parmi les treize bioherbicides homologués, neuf sont à base de micro-organismes fongiques, trois sont à base de micro-organismes bactériens et un a pour substance active un extrait naturel de plante. (Triolet et *al.*, 2016). Après cinq ans de développement et plus de 350 essais en France et en Europe, Beloukha est un nouveau produit de biocontrôle des mauvaises herbes non sélectif avec un effet mortel et desséchant, il contrôle la concurrence des graminées et réduire les usages de désherbants chimiques (Nguyen et *al.*, 2015). Entre 2016-2017, il est présent sur le marché européen. Par la suite, il est prévu que ce produit soit homologué sur d'autres marchés (États-Unis, Japon...). Ce bioherbicide est issu de l'huile de colza par un procédé d'extraction naturelle. Les molécules extraites sont l'acide nonanoïque et l'acide pélargonique (Triolet et *al.*, 2016). Les bioherbicides pourraient être un outil de gestion intégrée biologique pour gérer les populations résistantes aux herbicides (Cordeau et *al.*, 2016 b).

Des produits à base de farine de gluten de maïs et des huiles essentielle végétales sont également disponibles pour la lutte non sélective contre les mauvaises herbes en agriculture biologique (Pyon et *al.*, 2017).

La nature volatile et aromatique des huiles essentielles aide à attirer les pollinisateurs, la signalisation plante-plante et les interactions tritrophes. Les huiles essentielles sont à l'étude pour leur effet phytotoxique afin qu'elles puissent être utilisées comme herbicides potentiels (Bali et *al.*, 2016), certains exemples confirment cette phytotoxicité des huiles essentielles:

El idrissi et *al.* (2014) montrent que les huiles essentielles de *Chenopodium ambrosioides* L. et de *Daucus carota* L. ssp. *carota* peuvent être recommandées comme herbicides contre les mauvaises herbes et comme alternatives aux herbicides de synthèse dans l'agriculture. L'étude de l'activité herbicide des huiles essentielles de trois espèces de pin (*Pinus brutia* Ten, *Pinus coulteri* (D.) Don et *Pinus caribaea* Mor.) vis-à-vis des espèces adventices (*Sinapis arvensis* L., *Phalaris canariensis* L. et *Triticum turgidum* L.) a montrée un effet inhibiteur considérable sur leur germination et leur croissance (Hanana et *al.*, 2014). D'après Atak et *al.* (2015), les huiles essentielles d'*Origanum onites* L. et *Rosmarinus officinalis* L. pourrait être utilisées comme bioherbicide pour la suppression des mauvaises herbes. Selon Moussaoui et *al.* (2017), les bioproduits formulés à base d'huiles essentielles de *Pistacia lentiscus* et de

Cupressus arizonica ont été assez efficaces pour entraver le processus de germination des adventices. L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* L. a une forte activité herbicide sur la germination et la croissance des plantules de *Trifolium incarnatum*, *Silybum marianum* et *Phalaris minor* (Ben Kaab, 2020).

9. L'allélopathie est un domaine de recherche mutidisciplinaire

Démontrer que des inhibitions observées *in natura* sont des interactions allélopathiques nécessite une démarche scientifique. Après avoir constaté les symptômes d'inhibitions d'une espèce sur une autre *in natura*, il faut identifier tous les facteurs potentiellement impliqués dans cette inhibition. Si ces facteurs classiques (compétition interspécifique, qualité du sol, pathogènes) ne peuvent expliquer à eux seuls l'inhibition constatée, alors l'hypothèse de l'influence de composés allélopathiques peut être envisagé (Chiapusio *et al.*, 2008).

Les preuves nécessaires à l'établissement d'une interaction allélopathique s'organisent généralement autour de quatre points clés: la quantification des molécules impliquées et leur libération par la plante donneuse, leur devenir dans le sol, leur absorption et leur mode d'action dans la plante-cible et enfin la vérification, par des biotests, que ces molécules sont bien responsables des symptômes observés *in natura* (Chiapusio *et al.*, 2008; Souissi, 2011; Sodaizadeh et Hosseini, 2012).

Les résultats obtenus doivent permettre de corroborer l'hypothèse de l'action allélopathique et ainsi d'exclure les autres facteurs potentiellement explicatifs. Cette démarche nécessite donc une méthodologie précise afin de suivre entièrement le devenir d'une molécule allélopathique. L'interconnection constatée entre des expérimentations *in situ* et *in vitro* est d'une grande complexité et nécessite des approches multidisciplinaires (écologiques, agronomes, physiologistes, biochimistes, microbiologistes). Elle reste indispensable pour mieux comprendre et maîtriser ces interactions phytotoxiques entre les plantes (Doré *et al.*, 2004; Chiapusio *et al.*, 2008).

10. Difficultés de mise en évidence des effets allélopathiques au champ

La première difficulté tient au fait que les interactions entre deux espèces qui cohabitent ou qui se succèdent dans un écosystème sont multiples: en particulier, faire

la distinction entre compétition et allélopatllie dans des systèmes réels est quasi impossible (Doré et *al.*, 2004; Tshusy et *al.*, 2014).

La deuxième difficulté tient au fait que, même s'il existe une production de composés dont on a montré en conditions contrôlées l'action dépressive sur les fonctions biologiques d'espèces cibles, cela ne signifie pas pour autant que cet effet s'exprime au champ ; il est nécessaire qu'au moment opportun les quantités disponibles de ces molécules dans le milieu soient suffisantes, et que la plante cible soit dans un état de sensibilité adéquat (Doré et *al.*, 2004). L'évolution qualitative et quantitative des substances allélopathiques dans le sol est certainement le domaine le plus difficile à appréhender. De nombreuses questions restent en suspens quant à la biodisponibilité réelle de ces molécules pour les plantes cibles (Chiapusio *et al.*, 2008). Cependant, cette phase reste difficile à appréhender car contrôlée par des facteurs génétiques qu'environnementaux et donc souvent caractérisée par une très large variabilité spatiotemporelle difficilement reproductible en condition contrôlées.

Enfin, la troisième est liée à l'intervention d'autres organismes vivants dans le système : les composés phytotoxiques peuvent aussi avoir des origines microbiennes, indépendante de la présence d'une culture. Ces trois difficultés ont focalisé les débats sur le bagage méthodologique nécessaire à l'établissement de la preuve de l'allélopathie et ce au détriment des réflexions nécessaires pour parvenir à la maîtrise agronomique de ces phénomènes (Doré et *al.*, 2004).

Même si les études des interactions restent complexes, les enjeux sont importants. Ces études permettent et permettront non seulement de mieux comprendre le fonctionnement des agrosystèmes et des écosystèmes mais aussi de maîtriser les effets allélopathiques observés et de les valoriser en ayant *in fine*, par exemple, la potentialité de découvrir de nouvelles molécules à vocation pesticide (Chiapusio et *al.*, 2008).

Chapitre II

Matériel et méthodes

1. Récolte et préparation du matériel végétal

1.1 Espèces utilisées pour l'extraction des huiles essentielles

Nous avons choisi trois espèces; *Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. et *Eucalyptus globulus* Labill. (La Position systématique de chaque espèce, est en Annexe 01).

1.1.1 Description botanique de *Peganum harmala* L.

L'harmal, nommé aussi rue de Syrie, rue verte et rue sauvage, est une plante vivace, ligneuse, de 40 cm de haut. Les feuilles alternes vert glauque sont divisées, elles émettent une odeur désagréable quand on les froisse. Les fleurs possèdent 5 pétales blanc-jaunâtre. Le fruit, une capsule sphérique, contient des graines noires en forme de triangle. C'est une plante médicinale. La floraison a lieu de mai à juillet (Laoudj, 2017). L'origine biogéographique du Harmel est l'Asie centrale (Kartal et *al.*, 2003; Mirzaie et *al.*, 2007), elle est ré pondue en Afrique du Nord et en d'Europe du Sud (Quezel et Santa, 1963). C'est une espèce abondante dans les pâturages arides, les steppes et dans les montagnes. Elle pousse dans les sols salins des régions semi-désertiques (Benmedour, 2010).



Photo 01: *Peganum harmala* L. (Benarab, 2016)

Pour notre travail, l'harmel est récolté le mois de Juin de l'année 2016 dans la région d'El-Rasfa située à 35° 48' 37" de latitude Nord et 5° 15' 37" de longitude Est, à 50 Km au sud de Sétif avec 1000 m d'altitude. Nous avons coupé les parties aériennes des plantes à 80% du niveau hauteur, les plantes recueillies présentent un feuillage très dense portent des fleurs blanc-jaunâtre et des fruits verts (photo 01).

1.1.2 Description botanique d'*Artemisia herba-alba* Asso.

L'armoise herbe blanche nommé localement "chih", est une plante herbacée à tiges ligneuses et ramifiées de 30 à 50 cm, ses feuilles sont petites d'aspect argenté. Les fleurs sont groupées en grappes de couleur jaune. Le fruit est un akène oblong. La floraison commence de juin jusqu'à la fin d'été. Originaires d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, cette espèce résiste à la sécheresse, supporte le gypse et des niveaux de salinité élevés. En Algérie on trouve l'armoise blanche dans les zones des hauts plateaux. Elle présente une odeur caractéristique d'huile de thymol et un goût amer. (Laoudj, 2017)



Photo 02: *Artemisia herba-alba* Asso. (Benarab, 2016).

Dans ce travail, l'armoise herbe blanche est récolté le mois de Juin de l'année 2016 dans la région d'El-Rasfa (35° 48' 37" de latitude Nord et 5° 15' 37" de longitude Est) au sud de la wilaya de Sétif, à 1000 m d'altitude. Nous avons coupé les plantes feuilles à 80% du niveau hauteur des touffes (photo 02).

1.1.3 Description botanique d'*Eucalyptus globulus* Labill.

L'eucalyptus globuleux est un arbre qui peut atteindre une taille de 30 à 55 m de hauteur (Boukhatem et *al.*, 2019). C'est un arbre indigène en Tasmanie et au Sud-Est du continent australien. Introduit en Algérie en 1854, il se signale par sa croissance rapide et utilisé dans les reboisements et les stations d'Arborétum d'Algérie. Les feuilles sont de deux sortes selon qu'elles proviennent de jeunes plants ou de rameaux plus âgés. Les feuilles jeunes opposées, disposées horizontalement sur les rameaux; à pétioles très courts ovales plus long que large et en forme de cœur à la base. Les feuilles adultes sont portées sur des tiges cylindriques. Elles sont pétiolées, lancéolées et légèrement arquées, longue de 16 à 25 cm; large de 2 à 5 cm. Ces feuilles ont une odeur forte balsamique, camphrée avec une saveur chaude (Beloued, 2014).



Photo 03: *Eucalyptus globulus* Labill. (Benarab, 2016)

Les eucalyptus assèchent les sols dans lesquels ils sont plantés et empêchent la croissance des plantes voisines. De plus leur feuillage ne doit pas être utilisé pour le paillage ou le compost car il est toxique aux autres plantes (Audrey, 2012).

Les feuilles de l'*Eucalyptus globulus*, utilisées dans notre expérimentation, sont récoltées le mois de Juillet de l'année 2016 près de la ville de Sétif (lieu dit El-bez; 43° 36' 29" latitude Nord et 2° 28' 34" longitude Est), à 1000 m d'altitude (photo 03).

Nous avons coupé des feuilles âgées à partir des rameaux des grands arbres, à cette date, les arbres sont en stade de fructification. Les feuilles récoltées sont de couleur vert foncé, épaisses et d'une forte odeur.

1.1.4 Le séchage et conservation des plantes

L'opération de séchage a pour but d'enlever aux plantes l'eau qu'elles renferment, pour assurer une bonne conservation, afin de favoriser l'inhibition de toute activité enzymatique, éviter la dégradation de certains constituants ainsi que la prolifération bactérienne (Wichtel et Anton, 1999).

Après avoir récolté nos plantes allélopathiques, nous les avons séché dans les conditions de laboratoire; dans un endroit vaste, bien aéré et à l'ombre. Cette opération a pris 15 à 20 jours. Nous les avons coupés en petits morceaux et stockés dans des sacs en papier portant leurs noms. Ces sacs sont gardés loin de l'humidité et de la lumière.

1.2 Récolte des semences des adventices

Si le terme adventice à un sens écologique "plante introduite accidentellement dans des milieux modifiés par l'homme", le terme mauvaise herbe à un sens malherbologique "plante indésirable là où elle se trouve". Dans les milieux cultivés en particulier, toute espèce non volontairement semée est une "adventice" qui devient "mauvaise herbe" au-delà d'une certaine densité, c'est à dire dès qu'elle entraîne un préjudice qui se concrétise, en particulier, par une baisse du rendement (Barralis, 1984).

Dans le cadre de notre travail, le terme "mauvaise herbe" sera utilisé pour désigner l'ensemble des espèces appartenant à la flore spontanée des parcelles cultivées.

Nous avons réalisés plusieurs sorties pour différentes cultures dans la zone de Sétif (Ain roua, Dhemcha, Elmaouene, Guedjel et Mezloug) durant les campagnes agricoles 2015/2016 et 2016/2017. Ces sorties sont effectuées durant la période Mai-Juillet, cette

période coïncide avec la maturité, le dessèchement de la majorité des adventices et la dissémination des graines. Notre choix est porté sur neuf espèces : une Apiaceae, deux Brassicaceae, trois Poaceae et trois Asterceae, il s'agit de:

- Fenouil annuel (*Ammi visnaga* Lamk), famille: Apiaceae.
- Folle avoine (*Avena fatua* L.), famille: Poaceae.
- Brome de Madrid (*Bromus madritensis* L.), famille: Poaceae.
- Roquette sauvage (*Diplotaxis tenuifolia* L.), famille: Brassicaceae.
- Orge des rats (*Hordeum murinum* L.), famille: Poaceae.
- Centaurée de Salamanque (*Mantisalca salmentica* (L.) Briq. & Cavill), famille: Asterceae.
- Galinette (*Scorzonera laciniata* L.), famille: Asterceae.
- Chardon- marie (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.), famille: Asteraceae.
- Moutarde des champs (*Sinapis arvensis* L.), famille: Brassicaceae.

La détermination des espèces adventices s'effectue d'après la nouvelle flore de l'Algérie (Quezel et Santa, 1963). L'annexe 02 représente les caractéristiques floristiques de ces adventices.

Les fruits mûrs de chaque espèce sont stockés dans des sacs en papiers portant le nom de l'espèce et la date de récolte. Les sacs sont stockés au laboratoire (Les photos des graines sont représentées par l'Annexe 03).

Plusieurs de ces espèces adventices choisis figurent dans des travaux qui traitent le problème des adventices des cultures dans région du Sétifoi: (Benarab, 2008; Benmedour 2010; Fenni, 1991; Fenni, 2003; Hani, 2005; Hani, 2012; Lebezda, 2005; Lebezda, 2018).

Afin de vérifier si les effets allélopathiques peuvent atteindre et influencer les cultures. Nous avons décidé de tester l'effet des espèces allélopathiques choisies sur la germination et la croissance de deux variétés de blé dur. Le choix s'est porté sur Waha et Mohamed Ben Bachir (Mbb), se sont des variétés très utilisées dans la région de

Sétif. Les graines de ces deux variétés de blé sont récoltées en Juillet 2016 au niveau de l'ITGC (Institut Technique des grandes cultures) Sétif.

2. L'expérimentation au laboratoire

L'extraction des huiles essentielles, la préparation de toutes les dilutions huileuses et les tests de germinations sont réalisés au niveau du laboratoire de valorisation des ressources biologiques naturelles, faculté des sciences de la nature et de la vie, université Ferhat Abbas Sétif-1-.

2.1 Les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont testées sur différentes cibles en protection des cultures; les insectes, les micro-organismes (champignons et bactéries), les adventices et aussi en protection des semences. Leurs activités comme herbicides recouvrent généralement des tests d'inhibition de germination de graines d'adventices (Furet et Bellenot, 2013).

2.1.1 Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont obtenues par distillation par entraînement à la vapeur d'eau, à l'aide de l'appareil Clevenger (1928) (photo 04). Le procédé consiste à faire remplir un ballon de quantité connue de plantes allélopathiques et de l'eau distillé (deux tiers du volume de ballon), exposé à une source de chaleur, après l'ébullition, à la sortie de la cuve de distillation, la vapeur d'eau enrichie d'huile essentielle traverse un serpentín où elle se condense. À la sortie, un essencier (appelé autrefois vase florentin) recueille l'eau et l'huile essentielle. La différence de densité entre les deux liquides permet une séparation aisée de l'huile essentielle recueillie par débordement. Cette opération dure trois heures après l'ébullition. L'huile sera recueillie dans des petits flacons en verre bien fermés, conservés à une température de 4 - 6° C loin de la lumière afin de son utilisation par la suite.

Le rendement en huiles essentielles est exprimé par le volume d'huile (en millilitre) obtenue pour la masse 100 g de matière végétale sèche par la relation suivante:

$$\mathbf{Rdt\ (\%) = V/m_s \times 100.}$$

Rdt (%): rendement en huile essentielle (ml/g).

V : volume d'huile essentielle recueilli.

m_s : masse végétale sèche.



Photo 04 : Montage de l'hydrodistillateur de type Clevenger.

Dans la présente étude, l'extraction des huiles essentielles pour chaque espèce alléopathique est effectuée plus qu'une fois, et le rendement final représente la moyenne des extractions réalisées.

2.1.2 Analyses chromatographiques des huiles essentielles

L'analyse des huiles essentielles a été effectuée par un chromatographe en phase gazeuse de marque Hewlett-Packard équipé d'un détecteur à ionisation de flamme: CG/FID 5890, couplé d'un chromatographe en phase gazeuse à un spectromètre de masse: CG/MS 5971 et muni d'une colonne de type DB5 MS (30 x 0.25mm; 0.25 μ m). La température de la colonne est programmé de 50°C à 300°C à raison de 5°C/min. Le débit du gaz vecteur (Helium) est fixé de 1.0 ml/min avec l'injection dans le mode split (1:30). Les températures de l'injecteur et du détecteur ont respectivement 250 et 280°C. Le spectromètre de masse fonctionne suivant le mode EI à une vitesse (70 eV)

multiplicateur d'électron, 2500 V; la température de la source d'ions est de 180 °C. Les données MS ont été arçuées en mode scan dans le m/z 33-450.

L'identification des composants était basée sur la comparaison de leurs spectres de masse avec ceux de la bibliothèque spectrale de masse du NIST (Masada, 1976 et Nist, 2002) et celles décrites par Adams, ainsi que sur la comparaison de leurs indices de rétention avec ceux de composés authentiques ou avec valeurs littéraires (Adams, 2007).

Les analyses chromatographiques des huiles essentielles de notre travail sont effectuées au niveau de laboratoire d'analyses des extraits végétaux et des arômes (LEXVA analytique), Clermont-Limagne (France).

2.1.3 Préparation des dilutions huileuses

Nous avons préparés quatre doses par la dilution dans 1ml d'éthanol respectivement les volumes 0.2, 0.4, 0.6 et 0.8 µl des huiles essentielles des espèces allélopathiques. Nous avons versé dans des tubes en verre un volume de 50 ml d'éthanol et à l'aide de la micropipette nous avons ajouté pour chaque tube les volumes 10, 20, 30 et 40 µl des huiles essentielles étudiées afin d'avoir les doses ci-dessus. Ces préparations sont utilisées immédiatement pour les tests de germinations. L'éthanol est un alcool utilisé dans la dilution des huiles essentielles (Boutabia et *al.*, 2016).

Le choix de ces doses est réalisé après une longue série de tests préliminaires de germination. Nous nous sommes basé également sur d'autres travaux, effectués dans le domaine de la lutte biologique par l'utilisation des huiles essentielles (Arab, 2016; Lefbvre et *al.*, 2012; Tabonjou et *al.*, 2003), aussi sur ce qui a été rapporté dans la littérature. Selon Draissac et *al.* (1998), il est important de remarquer que les doses efficaces des substances allélopathiques sur la germination ou sur la croissance des plantes cibles sont la plupart du temps très faibles et qu'on observe de fortes variations (inhibition ou stimulation) en fonction de la dose.

2.2 Les tests de germinations

La germination survient sur les graines non dormantes. Elle débute par une activité métabolique dans la semence qui se traduit par la croissance de l'embryon et de la percée des enveloppes séminale par la radicule et se termine avec le début de

l'allongement de la radicule. Les facteurs ayant des répercussions majeurs sur la germination des graines sont la température, l'humidité et la lumière. La germination peut dépendre aussi de la densité du sol, de sa concentration en CO₂, du niveau d'oxygène (aération), de la présence d'inhibiteurs volatils de germination et de substances allélopathiques (Leblanc et *al.*, 1999).

Tous les tests de germination sont réalisés dans des boîtes de Pétri. Nous avons utilisé des boîtes stériles en plastique de 88 mm de diamètre et d'une hauteur de 18 mm. Le même type de boîtes est utilisé pour toutes les espèces adventices et les deux variétés de blé. Des disques en papier filtre de type wattman d'un diamètre égal à celui des boîtes sont placés dans les boîtes de Pétri. Chaque boîte est étiquetée.

2.2.1 La désinfection des semences des adventices et variétés de blé

Afin de réduire les contaminations sans perte de vigueur germinative, nous avons désinfectés les semences des adventices étudiées et les deux variétés de blé (waha et Mbb) avec l'hypochlorite de sodium NaClO (eau de javel) (Araniti et *al.*, 2011). Nous avons utilisé un produit commercial de l'hypochlorite de sodium avec une concentration de 16%, dilué avec l'eau distillé afin d'avoir une concentration de 1%, selon la formule de dilution: $C1 \times V1 = C2 \times V2$.

Le trempage des semences en eau de javel (concentré 1%) se fait dans des béciers en verre de type Pyrex (100 ml) pendant 15mn. Ensuite, et après trois rinçages à l'aide d'une passoire avec l'eau distillée (Derouet, 2012), les semences sont utilisés directement pour les tests de germinations.

2.2.2 Les tests préliminaires de germinations

Dans le but d'obtenir des taux maximums de germination, de choisir une durée moyenne pour les tests de germination et de vérifier l'effet de l'éthanol sur la germination nous avons réalisé des tests préliminaires de germination. Toutes les graines des espèces adventices récoltées et variétés de blé sont soumises à ces testes.

2.2.2.1 Taux et durée de germination des graines

Nous avons utilisé deux boîtes de Pétri pour chaque espèce. Selon la méthode décrite par Benmedour (2010), nous avons introduit au départ 5 ml d'eau distillée avec une pipette graduée (5ml). Ensuite, 10 graines de chaque espèce sont déposées sur le papier

filtre dans chaque boîte. Nous avons incubé les boîtes dans une étuve réglée à 22,5°C (± 1) et suivie la germination des graines chaque jour à la même heure.

Au 10^{ème} jour d'incubation nous avons observé que toutes les graines qui germent développent une radicule (ou coléorhize) et une tigelle (ou coléoptile). Après cette durée d'incubation nous avons remarqué qu'il n'y a plus de germination et que les racines commencent à se dessécher et certaines d'entre elles présentent des longueurs importante et se chevauchent. Nous avons remarqué aussi que les parties aériennes de certaines plantules présentent des anomalies (jaunissement, noircissement des extrémités ...etc.).

Nous avons observé que la germination des graines du Chardon- marie (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) est retardé car le tégument de la graine est dur. Et afin de faciliter et accélérer la germination de ces graines, nous avons coupé superficiellement le tégument à l'aide d'un petit coupe-ongle à un seul point en évitant la zone d'émergence de la radicule. La durée d'incubation des graines de cette espèce est de 15 jours.

Les tests préliminaires de germination nous ont permis d'arrêter la liste des espèces adventices retenues pour les tests allélopathiques (toutes les espèces récoltées). Les espèces sélectionnées sont celles qui ont présentées un taux de germination supérieur ou égale à 50 %. Ces tests préliminaires nous ont permis aussi de déterminer la durée des tests finaux de germination (10-15 jours).

2.2.2.2 Effet d'éthanol sur la germination des graines

Nous avons utilisé deux boîtes de Pétri pour chaque espèce. Nous avons introduit au départ 1 ml d'éthanol (C₂H₆O) concentré 95% avec une pipette graduée (5ml), laissée ensuite 15 à 20 mn pour l'évaporation de l'éthanol. Nous avons ajouté 5 ml d'eau distillée avec une pipette graduée (5ml) dans chaque boîte et nous avons déposé 10 graines pour chaque espèce sur le papier filtre. Nous avons incubé les boîtes dans une étuve réglée à 22,5°C (± 1) et suivie la germination des graines chaque jour du même heure. La durée d'incubation a pris 10 à 15 jours, selon l'espèce.

Nous avons observé que, le taux de germination des graines pour toutes espèces dépasse 50%, et que toutes les graines développent une radicule et une tigelle. La comparaison des résultats obtenus avec l'utilisation de l'éthanol et celles obtenues avec l'utilisation uniquement d'eau distillée montre que les tests de germinations sont très

proche. L'effet de l'éthanol sur la germination est confirmé, ce qui permet son utilisation comme un alcool solvant pour la dilution des huiles essentielles étudiées.

2.2.3 Les tests finaux de germination

Nous avons utilisé 220 boîtes de Pétri pour tester l'effet de chaque huile essentielle. [(Quatre dilutions + témoins) x quatre répétitions] x [(Neuf espèces adventices) + (deux variétés blé dur)].

Nous avons introduit à l'aide d'une pipette graduée dans chaque boîte 1ml de la dilution considérée, laissée ensuite 15 à 20 mn pour l'évaporation de l'éthanol. Nous avons ajouté 5 ml d'eau distillée dans chaque boîte ainsi que les boîtes témoins et nous avons déposé 10 graines de chaque espèce adventice et variété blé. Les boîtes sont recouvertes immédiatement et incubées dans une étuve de marque Memmert, réglées 22,5°C (± 1). Les graines choisies sont saines (sans anomalies) et ont presque le même calibre. Chaque boîte porte le nom de l'espèce, la concentration de la dilution, le nombre de la répétition et la date de l'expérimentation.

2.2.3.1 Détermination des pourcentages de germination

Après 10 jours d'incubation, l'expérience est arrêtée et le pourcentage de germination de chaque espèce et dans chaque boîte est déterminé (photo 05). Nous avons considéré comme graine germée celle qui a développée un coléorhize chez les espèces monocotylédones (photo 06) ou une racicule chez les espèces dicotylédones (photo 07).

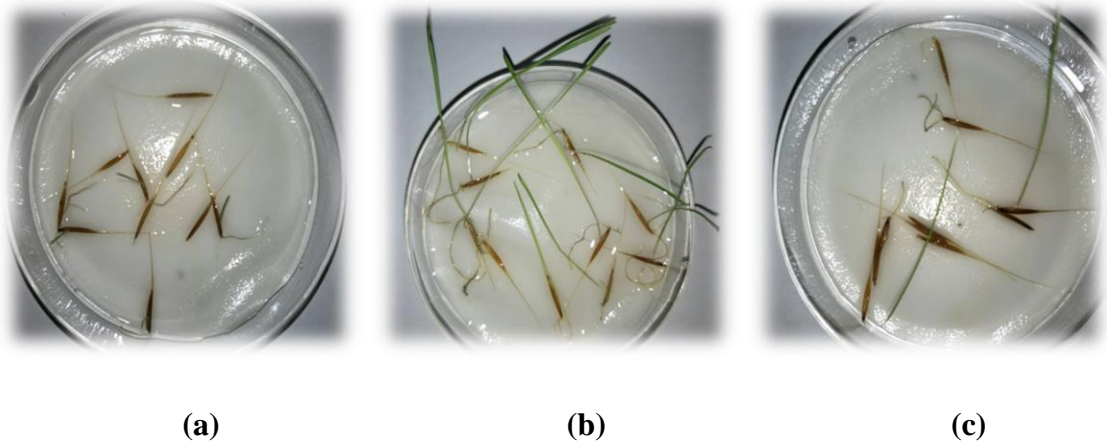


Photo 05: Graines de *Bromus madritensis* L. traitées avec l'Eucalyptus 0.4µl (a), l'eau distillée (b) et l'Armoise blanche 0.4µl (c) après 10 jours d'incubation.

2.2.3.2 Mesures des longueurs des racines et des parties aériennes

Après avoir déterminé le nombre des graines qui ont germés dans chaque boîte, nous avons mesuré les longueurs de la partie racinaire (LR) et la partie aérienne (LPA). La LR représente chez les poacées la longueur du coléorhize ou la plus longue des racines primaires alors qu'elle représente la longueur de la radicule ou la longueur de la racine principale des dicotylédones. La LPA correspond pour les poacées à la longueur de coléoptile ou de la première feuille. La LPA correspond pour les espèces dicotylédones à la longueur de la tigelle ou la tigelle plus les feuilles dicotylédonnaires ou encore la tigelle plus les premières feuilles. Nous avons suivie une méthode de mesure des longueurs des plantules décrite par (Zehhar et *al.*, 2006; Benmahioul et *al.*, 2010; Benmedour, 2010), simple et facile, à manipuler directement sur un papier millimétrique (photo 08).



Photo 06: Graines de blé de la variété Mbb traitées avec l'eau distillée après deux jours d'incubation.



Photo 07: Graines de *Mantisalca salmentica* (L.) Briq. & Cavill., traitées avec l'eau distillée après deux jours d'incubation.

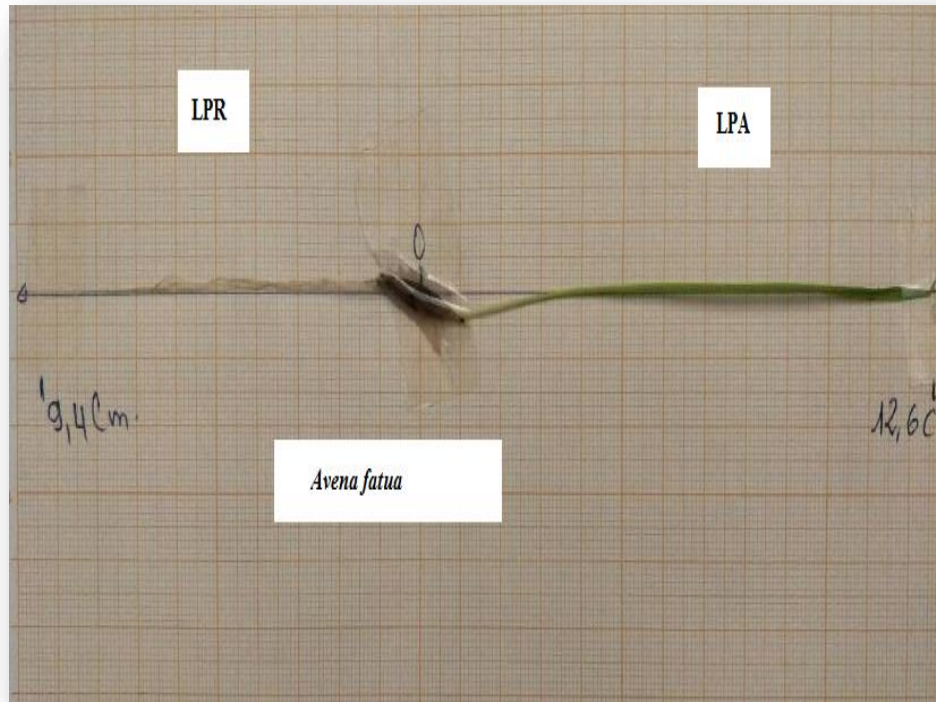


Photo 08: Mesure de la longueur de la racine et de la partie aérienne d'une plantule d'*Avena fatua* L. traitée par l'eau distillée.

3. Analyse statistique des données

Le pourcentage de germination des graines pour chaque boîte de Pétri est déterminé selon la formule suivante (Benhaj Jilani et *al.*, 2014):

PG % = nombre des graines qui ont germées / nombre totale des graines (10 graines) × 100.

Pour comparer les effets des espèces allélopathiques sur chaque espèce adventice et sur chaque variété de blé, nous avons convertie les pourcentages de germination et les mesures des LR et LPA en pourcentages d'inhibition. Les conversions sont effectuées selon la formule utilisée par Chung et *al.* (2003) et Dhima et *al.* (2006) :

$$\% I = [(Témoin - Extrait) / Témoin] \times 100.$$

% I : le pourcentage d'inhibition par rapport au témoin

Témoin : la moyenne des 4 répétitions du témoin

Extrait : le pourcentage de germination ou la longueur de la LR ou la LPA de chaque boîte traitée par l'extrait aqueux. Le % I de chaque variable (la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne) est calculé séparément, tel que :

% IG : Le pourcentage d'inhibition de la germination (G)

% ILR : Le pourcentage d'inhibitions de la longueur de la racine (LR)

% ILPA : Le pourcentage d'inhibition de la longueur de la partie aérienne (LPA)

Exemple : le test de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* à la concentration 0.4µl sur la germination des graines d'*Avena fatua*. La moyenne de la LR des 4 boîtes témoins est de 8,4 cm. La moyenne de la LR dans une boîte traitée par cette concentration est égale à 3.2 cm. Le pourcentage d'inhibition de la LR dans cette boîte est donc de :

$$\% \text{ I (LR)} = [(8.4 - 3.2) / 8.4] \times 100 = 62\%.$$

Pour chaque espèce adventice ou variété de blé, nous avons adopté un arrangement factoriel des traitements (concentration des dilutions × espèce allélopathique) avec 4 répétitions. Les données obtenues portant sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) sont soumises à une analyse de variance ANOVA à un seul facteur effet concentration des huiles testées et les moyennes sont comparées selon le test Fischer LSD 5%. Toutes les analyses statistiques sont réalisées avec la version 9.7.2 (2009) du logiciel Cropstat. Nous avons présenté pour chaque espèce, les différences entre les traitements et le témoin, l'effet sur les trois variables (G, LR et LPA).

L'évaluation de l'effet allélopathique de différents traitements (extraits huileux d'*A. herba-alba* et *E. globulus*) sur les adventices et variétés de blé dur est jugée selon l'échelle de la commission des essais biologiques de la société Française de phytologie et de phytopharmacie (CEB), utilisé par Rssaisi et al. (2013); About et al. (2019):

Inhibition (%) = Effet allélopathique

95 à 100% = très bon effet

80 à 95% = bon effet

60 à 80% = effet moyen

40 à 60% = effet faible

< À 40% = effet sans intérêt pratique.

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Rendement et composition chimique des huiles essentielles

1.1 L'huile essentielle de *Peganum harmala* L.

L'extraction de l'huile essentielle du Harmel a donnée de très fines gouttelettes observées au niveau de la paroi interne du serpentin de l'hydrodistillateur. Ces traces de l'huile ont données un rendement très faible de l'ordre de 0.01%. Un bon rendement volontairement recherché, nous a orienté à récolté l'Harmel dans d'autres localités. Il s'agit de la région de Hammam Guergour et la région de Boussaâda (Annexe 04). Les rendements des huiles essentielles obtenues pour ces deux régions sont respectivement 0% et 0.03%. Nos résultats sont proches de ceux obtenus par Apostolico *et al.* (2016) dont les rendements sont 0.005%, 0.003%, 0.002%, 0.001% et 0.01% pour l'Algérie, l'Egypte, la Libye, le Maroc et la Tunisie respectivement. Egalement en Turquie cette espèce a donnée un rendement de 0.03% (Sekeroglu *et al.*, 2006). Selon Fazal *et al.* (2011), les graines de *Peganum harmala* ont données un rendement nul en huiles essentielles au Pakistan. Contrairement à ces résultats un bon rendement de l'ordre de 2.3% a été obtenu par Selim *et al.* (2013) en Egypte.

Suite aux résultats de rendement que nous avons obtenus pour les trois localités, nous avons jugé qu'il s'agit d'une espèce pauvre en huiles essentielles, ce qui nous a obligé à éliminé cette espèce pour ce travail.

1.2 L'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* Asso.

L'extraction de l'huile essentielle d'armoise blanche a donné une huile de couleur jaune-pâle avec un rendement de 1.19 %. Le même résultat (1.23%) est obtenu sur des populations du Maroc (Ghanmi *et al.*, 2010). En Algérie les rendements de cette huile sont de l'ordre de 0.95% (Bezza *et al.*, 2010), 0.28% (Bechiri et Tahar Mezedek, 2018) dans la région de Biskra et 0.93% pour la région de Saïda (Bouzidi, 2016). Selon Akrouf (2004), le rendement de l'armoise blanche en Tunisie est de 0.65% dans la région de Matmata et de 0.26 % dans la région du Kef (Benhadj jilani, 2014). Alors qu'il est de l'ordre de 0.35% dans la région d'Errachidia (Sud-Est du Maroc) (Moumni *et al.*, 2013). En Arabie Saoudite cette plante a donnée un rendement très faible 0.051% (Al-Wahaibi *et al.*, 2018).

Les composés identifiés dans cette huile et leurs abondances sont présentés par ordre de leur apparition dans le tableau 03.

Tableau 03: Composition chimique de l'huile essentielle d'*A. herba-alba* Asso.

N°	Composés	Tr	%
01	Santolina-Triène	10.91	0.12
02	Tricyclène	11.71	0.21
03	Alpha-Thujène	11.84	0.04
04	Alpha-Pinène	12.14	0.50
05	Camphène	12.80	3.36
06	Thuja-2,4(10)-Diène	12.92	0.08
07	Sabinène	13.61	0.13
08	Béta-pinène	13.76	0.15
09	1-Octène-3-ol	13.91	0.08
10	Myrcène	14.15	0.01
11	Déhydro-1,8-Cinéole	14.19	0.01
12	Mésitylène	14.39	0.31
13	Alpha-Terpinène	15.16	0.01
14	Para-Cymène	15.51	1.16
15	Eucalyptol	15.82	11.66
16	Gamma-Terpinène	16.60	0.03
17	Linadol	18.08	0.65
18	Cis-Thujone	18.44	22.03
19	Trans-Thujone	18.76	7.10
20	Chrysanthénone	18.85	1.97
21	Camphre	19.83	28.58
22	Sabina cétone	19.98	0.24
23	Pinicarvone	20.16	2.41
24	Bornéol	20.57	2.72
25	Terpinen-4-ol	20.75	0.95
26	Cryptone	20.85	0.04
27	Alpha-Terpinéol	20.96	0.24
28	Myrténal	21.16	0.29
29	Verbénone	21.54	0.30
30	Nerol	21.94	0.06
31	Formate de Bornyle	22.14	0.08
32	Cuminaldéhyde	22.54	0.02
33	Carvotanacétone	22.59	0.30
34	Acétate de Cis-Chrysanthényle	22.92	2.89
35	Acétate de Bornyle	23.73	0.64
36	Acétate de trans-Sabinyle	23.76	0.07
37	Inconnu 164	26.75	2.79
38	Inconnu MW 206	31.60	0.65
	Total		92.89

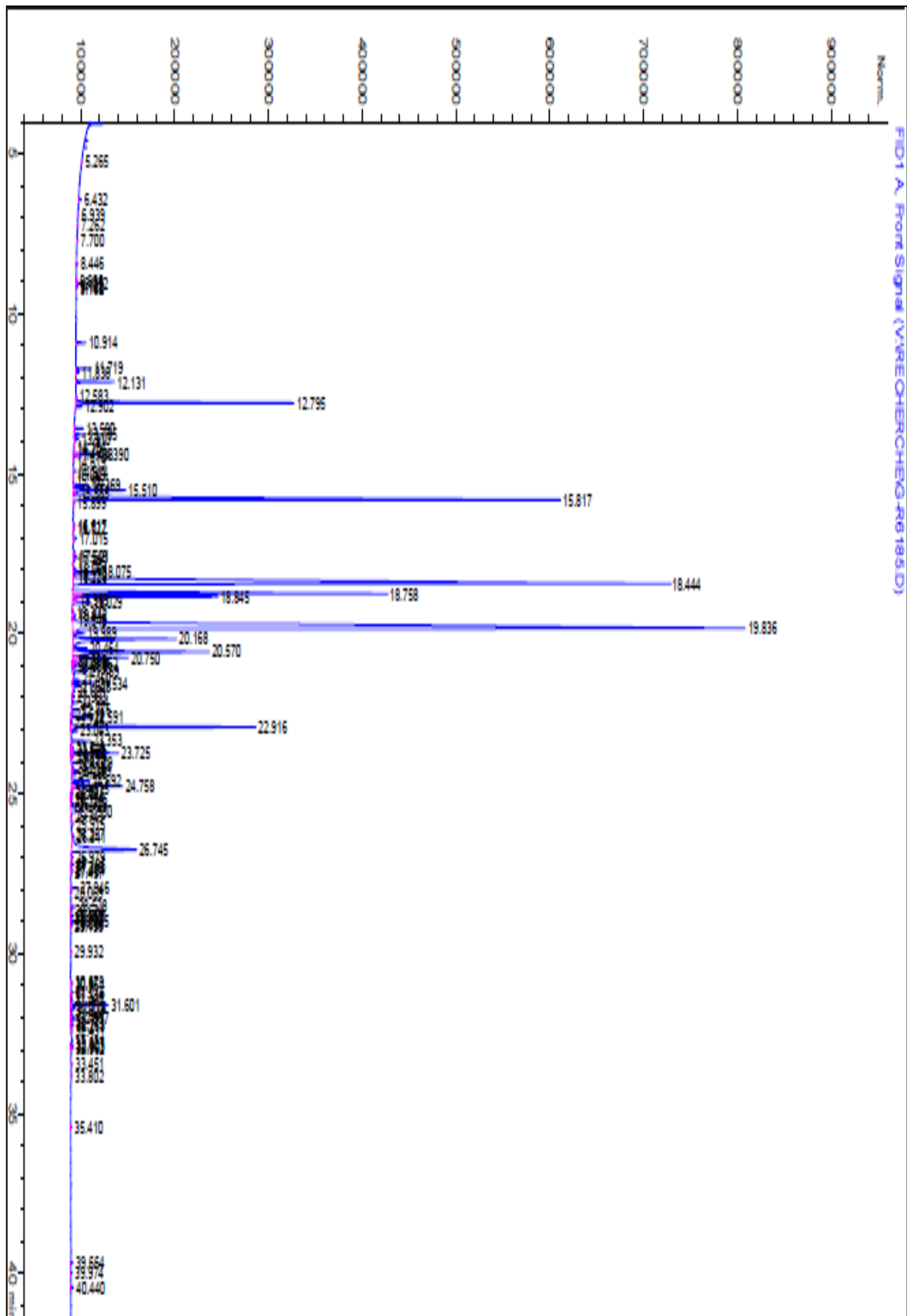


Figure 05: Spectre de Fid de l'huile essentielle de l'A. herba-alba Asso.

L'analyse GC-GC / MS de l'huile nous a permis d'identifier 38 composés volatils, qui représentent environ 92.89 % de l'huile essentielle totale de l'*A. herba-alba* (tab.03, fig.05). Cette huile est composée principalement par: le camphre (28.58%), le cis-thujone (22.03%), l'eucalyptol (11.65%) et le trans- thujone (7.03%), accompagnés d'autres constituants à des teneurs relativement faibles: camphène (3.35%), acétate de cis-chrysanthényle (2.88%), bornéol (2.71%) et pinocarvone (2.40%). Cette composition chimique ressemble à celle obtenue et rapportée par plusieurs auteurs, entre autres; Akrouit (2004), Bezza et *al.* (2010), Ghanmi et *al.* (2010), Zouari et *al.* (2010), Belhattab et *al.* (2012) et Bouzidi (2016). Il faut signaler que l'eucalyptol se trouve uniquement dans les populations de la région de Saida (6.51%) (Bouzidi, 2016), la présence de ce composé se confirme dans notre huile, extrait des populations de la région de Sétif (Annexe 05).

Selon Moumni et *al.* (2013), la variabilité du profil chimique de ses huiles, peut être d'origine géographique, génétique ou même écologique (sol, humidité, etc.). Elle peut être également due au procédé d'extraction de l'huile et l'état de conservation (Bekhechi et Abdelouahid, 2014; Poirot, 2016).

1.3 L'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* Labill.

L'extraction de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* a donné une huile de couleur jaune-pâle, d'une odeur camphrée et un rendement de 1.95 %. Ce résultat est proche à celui obtenu en Monténégro (1.80%) par Vratnica et *al.* (2011). En Algérie, les rendements de l'huile essentielle d'*E. globulus* sont variables d'une région à une autre, ils sont de l'ordre de 1.90 % dans la région de Boumerdes (Oulebsir-Mohandkaci et *al.*, 2015), 1.40 % dans la région de Tebessa (Ghenaiet et Aouidet, 2016), 2.83% dans la région de Hajout, 1.20% pour la région Azzefoune, 0.69% pour Bainem (Faudil-chérif et *al.*, 1993), 0.41% dans la région d'Ouargla, 0.33% à Ain-defla et 0.2% dans la région de Média (Benabdallah et Drici, 2018). En Chine cette espèce végétale a donnée un rendement faible de l'ordre de 0.18% (Song et *al.*, 2009).

Les composés identifiés dans cette huile et leurs abondances sont présentés par ordre de leur apparition dans le tableau 04.

Tableau 04: Composition chimique de l'huile essentielle d'*E. globulus* Labill.

N°	Composés	Tr	%
01	Alpha-Thujène	11.83	1.33
02	Alpha-Pinène	12.13	0.82
03	Sabinène	13.59	0.38
04	Béta-pinène	13.78	0.07
05	Myocrène	14.14	0.09
06	Para-Cymène	15.54	8.89
07	Limoène	15.66	0.42
08	Béta-Phellandrène	15.74	0.55
09	Eucalyptol	15.78	4.28
10	Cis-Oxyde de Linalol	17.07	0.18
11	Trans-Oxyde de Linalol	17.59	0.09
12	Linalol	18.06	1.48
13	Cis-Thujone	18.28	0.13
14	Trans-Thujone	18.66	0.26
15	Cis-Para-Menth-2ène-1-ol	18.95	1.37
16	Trans-Para-Menth-2ène-1-ol	19.53	1.28
17	Camphre	19.65	0.18
18	Terpinène-4-ol	20.78	6.48
19	Cryptone	21.04	14.27
20	Alpha-Terpinéol	21.21	0.87
21	Acétate de Linalyle	21.60	0.73
22	m-Cuménol	22.17	0.18
23	Cumin Aldéhyde	22.63	3.06
24	Pipéritone	22.91	0.47
25	Phellandral	23.64	1.09
26	Alpha-Terpinèn-7-al	23.87	0.12
27	Para-Cymèn-8-ol	24.06	0.69
28	Carvacrol	24.30	0.95
29	4-Hydroxy-Cryptone	25.08	1.21
30	Béta-Elémène	26.67	0.08
31	Béta-Gurgunène	28.06	0.07
32	Inconnu MW 202	28.55	0.20
33	Allo-Aromadendrène	28.63	0.99
34	s10,11-Epoxy-Calaménène	29.26	0.14
35	Inconnu MW 200	29.36	0.24
36	Spathuléol	31.75	33.59
37	Viridiflorol	32.29	0.60
38	Isobicyclogermacrénal	35.18	1.42
39	Gamma-Curcumen-15-al	35.63	0.97
	Total		90.05

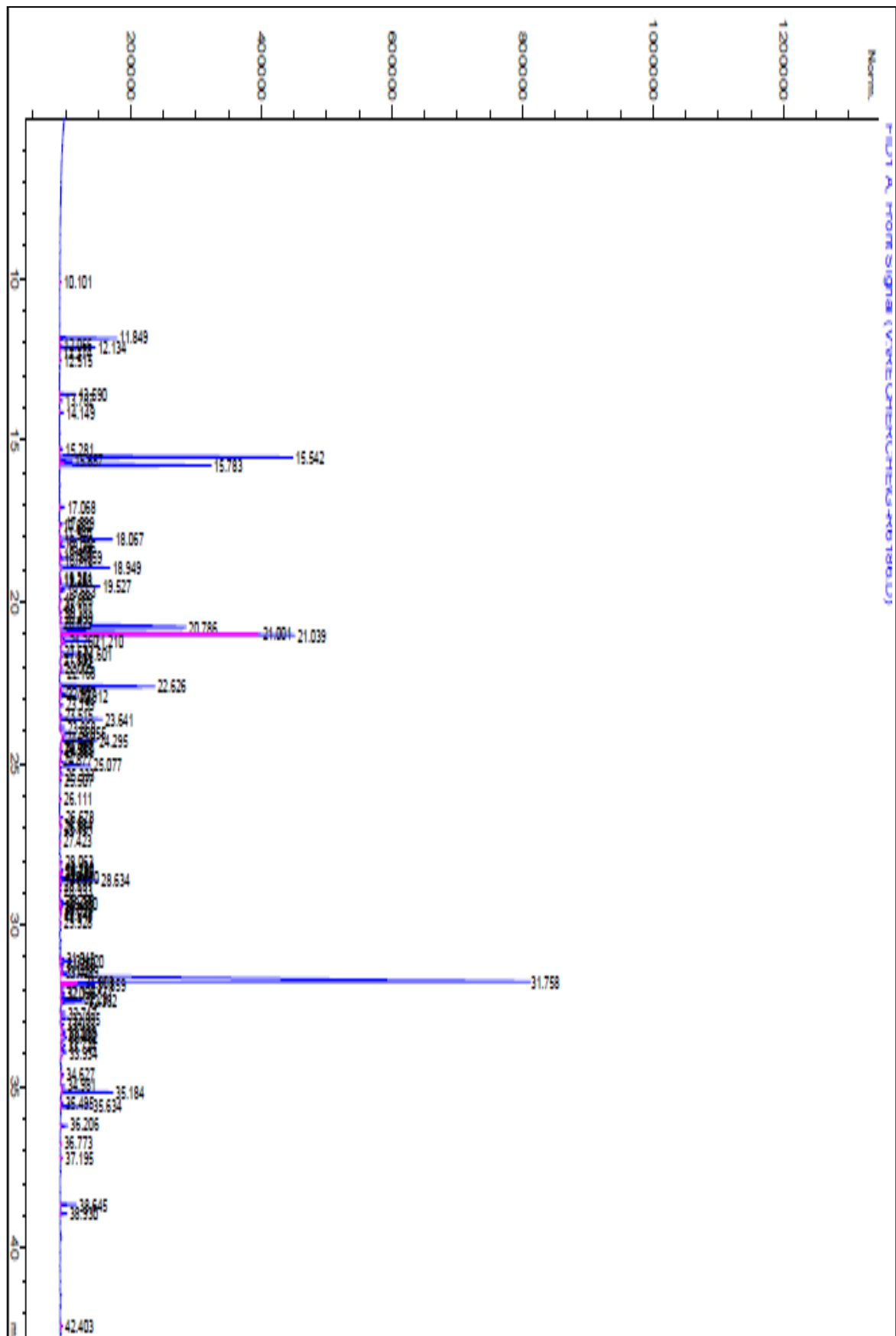


Figure 06: Spectre de Fid de l'huile essentielle d'*E. globulus* Labill.

L'analyse GC-GC / MS de l'huile nous a permis d'identifier 39 composés volatils, qui représentent environ 90.05% de l'huile essentielle totale d'*Eucalyptus globulus* (tab.04, fig.06). Cette huile est composée principalement par: le spathuléol (33.59%), le cryptone (14.27%), para-cymène (8.89%) et terpinène-4-ol (6.48%), accompagnés d'autres constituants à des teneurs relativement faibles: eucalyptol (4.28%) et cumin aldéhyde (3.06%). La présence de spathuléol, cryptone et para-cymène comme constituants majeurs a été mentionnée dans certaines populations d'*Eucalyptus globulus* en Algérie (Benabdallah et Drici, 2018) et en Espagne (Chalchat et al., 2011). D'autre part la composition chimique de notre huile essentielle se différencie nettement de celle obtenue et rapportée par plusieurs auteurs (Faudil cherif et al., 1993; Silvestre et al., 1994; Song et al., 2009; Vilela et al., 2009; Zrira et al., 2011; Vratnica et al., 2011; Dagne et al., 2011; Djenane et al., 2011) dont le 1,8 cineol est le composé majoritaire avec des taux très élevés, alors qu'il représente 4.28% seulement dans notre huile essentielle (Annexe 06). Selon Faudil cherif et al. (1993), les essences d'*Eucalyptus* d'Algérie se distinguent par leur taux élevé en spathuléol.

Selon Moumni et al. (2013), la variabilité du profil chimique de ses huiles, peut être d'origine géographique, génétique ou même écologique (sol, humidité, etc.). Elle peut être également due au procédé d'extraction de l'huile et l'état de sa conservation (Bekhechi et Abdelouahid, 2014; Poirot, 2016).

1.4 Classes chimiques des huiles essentielles

Nos résultats montrent que l'huile essentielle d'*A. herba-alba* est dominée par la famille chimique des monoterpènes et en particulier les oxygénés (82.97%), représentés par le camphre (tab.05). Ce résultat est conforme à celui de Tilaki et al. (2013), dont les monoterpènes oxygénés constituent la majeure partie de l'huile essentielle d'*Artemisia herbe-alba*. Selon Asfaw et Demissew (2015), la composition chimique des huiles essentielles d'*Artemisia schimperi*, *Artemisia afra* et *Artemisia abyssinia* sont principalement dominées par les monoterpènes.

L'huile essentielle d'*E. globulus* est caractérisée par la présence de quatre classes chimiques majeures. Les monoterpènes oxygénés sont les mieux représentés avec un taux de 40.52%, ils sont dominés par le cryptone. Les sesquiterpènes oxygénés figurent en deuxième position (35%), représentés par le spathuléol, alors que les monoterpènes

et sesquiterpènes hydrocarbonés sont moins présentés dans la composition chimique de cette huile (tab.05). L'huile essentielle des feuilles d'*E. globulus* est composée principalement des monoterpènes et sesquiterpènes oxygénés (Russo et al., 2015).

Tableau 05: Classes chimiques des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* et *Eucalyptus globulus*.

Classe chimique	<i>Artemisia herba-alba</i>			<i>Eucalyptus globulus</i>		
	Nb	%	Composé majoritaire	Nb	%	Composé majoritaire
Monoterpène oxygéné	21	82.97	Camphre	22	40.52	Cryptone
Monoterpène hydrocarboné	11	5.76	Camphène	7	11.22	Para-Cymène
Sesquiterpène Oxygéné	0	0	—	4	35.3	Spathuléol
Sesquiterpène Hydrocarboné	0	0	—	4	2.56	Isobicyclogermacréol
Autres	06	4.15	—	2	0.44	—
Totale	38	92.88		39	89.77	

2. Effets des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur la germination et la croissance des plantules des espèces adventices et variétés du blé dur

2.1 Effet des huiles essentielles sur les espèces adventices

2.1.1 Effet sur le fenouil annuel (*Ammi visnaga* Lamk)

L'analyse de la variance indique que le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d'*Ammi visnaga* sont significativement affectés à $P < 0.001$ (tab.06) du facteur concentration des huiles essentielles des deux espèces allélopathiques, (la longueur de la partie aérienne est affectée significativement à $P < 0.01$ par l'espèce allélopathique *A. herba-alba*).

La comparaison des moyennes (tab.06) indique que toutes les concentrations testées affectent significativement la longueur de la partie aérienne et la longueur racinaire à $P < 0.05$. Pour la germination, uniquement la concentration 0.2 μl d'*A. herba-alba* n'est pas d'effet significatif en comparaison avec le témoin.

L'effet sur la germination

Nous remarquons que l'huile essentielle d'*E. globulus* aux différentes concentrations montre un effet inhibiteur élevé sur la germination d'*A. visnaga*. L'inhibition dépasse 85% à la concentration 0.2 μl et elle est totale pour les deux concentrations 0.6 et 0.8 μl . Pour l'huile d'*A. herba-alba*, l'inhibition la plus élevée est obtenue à la concentration 0.6 μl , elle est de 52%. Une stimulation de la germination à la concentration 0.2 μl (-7%) et une inhibition totale de la germination à la concentration 0.8 μl (fig.07).

L'effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Les résultats obtenus (fig.07) montrent que l'espèce *E. globulus* est la plus inhibitrice du développement des plantules (LR et LPA) d'*A. visnaga*. Une inhibition totale est obtenue pour la LR et la LPA respectivement pour les deux concentrations 0.6 et 0.8 μl . Pour l'espèce *A. herba-alba*, les pourcentages d'inhibition à la concentration 0.2 μl sont faibles. Ils sont de 35% pour la LR et 32% pour la LPA. Par contre, les pourcentages d'inhibition sont plus élevés et dépassent les 70% pour des concentrations plus élevées.

Tableau 06: Effet des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d'*Ammi visnaga* Lamk.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA(cm)
	Témoin 00 µl		67.5a	4.0a	5.0a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		72.5a	2.6b	3.4c
	0.4 µl		35b	1.1d	2.5d
	0.6 µl		32b	1.2d	4.1b
	0.8 µl		0.0e	0.0f	0.0f
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	3482.5***	7.77***	14.71**
	Erreur	15	21.66	0.316	2.001
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		10 c	1.9c	2.4d
	0.4 µl		5.0d	0.7e	0.7e
	0.6 µl		0.0e	0.0f	0.0f
	0.8 µl		0.0e	0.0f	0.0f
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	3320.0***	11.68***	21.92***
	Erreur	15	24.99	0.50	0.71

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$. **Signification à $P < 0.01$

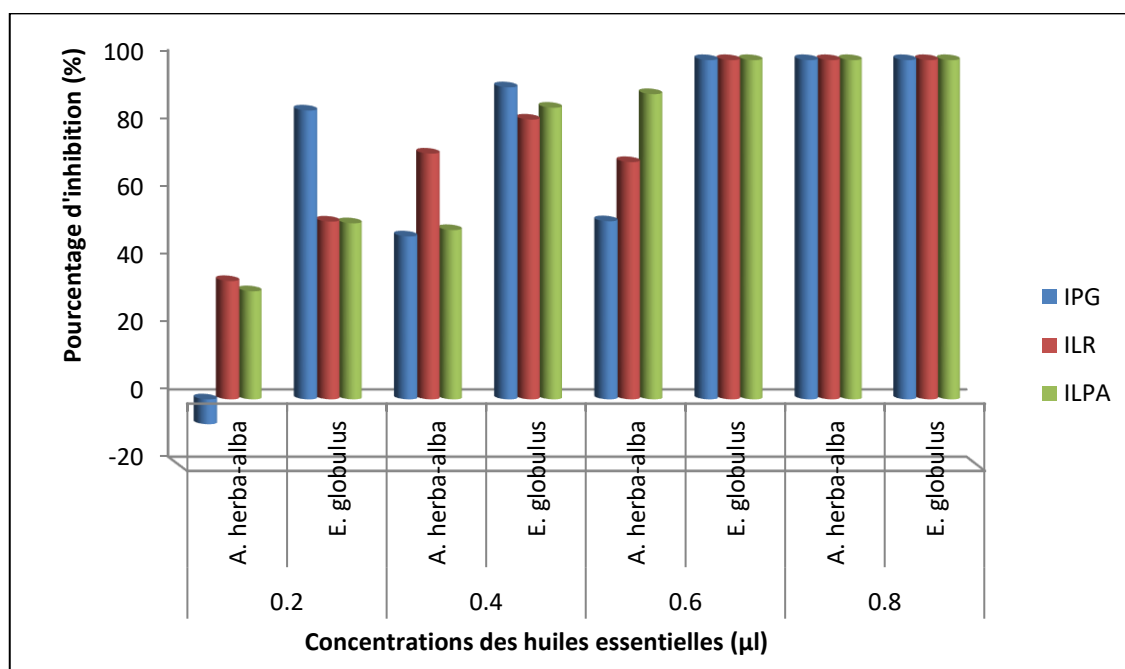


Figure 07: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d'*Ammi visnaga* Lamk.

Les résultats montrent une augmentation de l'effet inhibiteur lorsque la concentration des huiles essentielles des espèces allélopathiques augmente. Cette augmentation est observée pour la germination des graines et pour le développement des plantules d'*A. visnaga*.

2.1.2 Effet sur la folle avoine (*Avena fatua* L.)

L'analyse de variance (tab.07) indique que la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne d'*Avena fatua* L. sont significativement affectées à $P < 0.001$ par le facteur concentration de l'espèce allélopathique *E. globulus*. La longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne sont affectées significativement par le facteur concentration à $P < 0.001$ et $P < 0.01$ respectivement par l'espèce *A. herba-alba*, alors que la germination n'est pas affectée.

La comparaison des moyennes indique que tous les paramètres étudiés (PG%, LR, LPA) sont inhibés significativement à $P < 0.05$ par l'huile d' *E. globulus*. Alors que l'huile d'*A. herba-alba* n'affecte pas la germination et la longueur de la partie aérienne à la concentration 0.2 μ l (tab.07).

L'effet sur la germination

L'huile essentielle d' *E. globulus* montre un effet inhibiteur élevé sur la germination d' *A. fatua*. L'inhibition dépasse 60% à la concentration 0.2 μ l. Alors que l'huile essentielle d'*A. herba-alba*, stimule cette germination, où IPG est de l'ordre de -3% pour la concentration 0.8 μ l (fig.08).

L'effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Les pourcentages d'inhibition les plus élevés de la LR et la LPA sont obtenus par l'huile d' *E. globulus* à la concentration 0.4 μ l, ils dépassent 86% pour la LR et 81 % pour la LPA. En ce qui concerne l'espèce *A. herba-alba*, à la concentration 0.2 μ l la LPA est stimulée (-7 %), à partir de la concentration 0.4 μ l, l'inhibition de la LR et la LPA augmente et ne dépasse pas 56 et 40% respectivement à la concentration 0.8 μ l (fig.08).

Tableau 07: Effet des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d'*Avena fatua* L.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	62.5a	11a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.		0.2 µl	52.5b	10.2b	13.8a
		0.4 µl	60a	7.6c	10.8b
		0.6 µl	62.4a	7.2c	9.1c
		0.8 µl	64.5a	4.9e	7.8d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	67.0 ^{Ns}	23.39***	26.23**
	Erreur	15	50.00	0.36	2.93
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.		0.2 µl	22.5c	5.9d	8.0d
		0.4 µl	0.5cd	1.6f	2.4e
		0.6 µl	0.0d	0.0dg	0.0f
		0.8 µl	0.0d	0.0dg	0.0f
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	2600.0***	85.52***	113.1***
	Erreur	15	38.33	0.82	1.90

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$. **Signification à $P < 0.01$. Ns; non significatif.

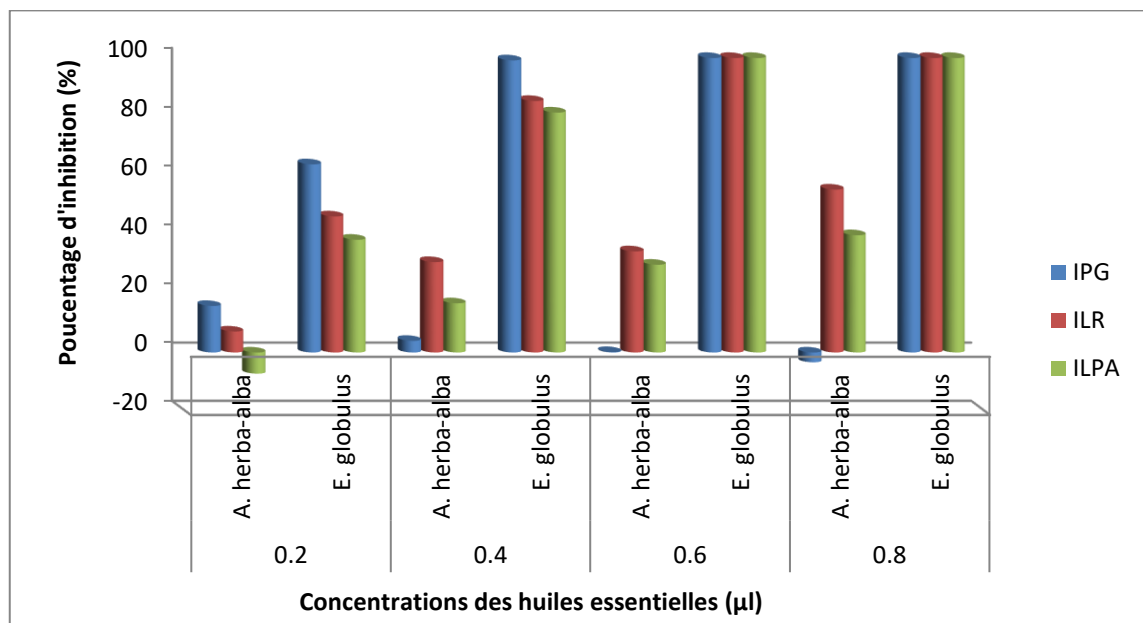


Figure 08: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d'*Avena fatua* L.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que l'effet inhibiteur d'*E. globulus* sur la germination et le développement d'*A. fatua* est important. Par contre il est faible pour l'*A. herba-alba*. Cette dernière espèce montre une stimulation de la germination.

2.1.3 Effet sur le brome de Madrid (*Bromus madritensis* L.)

L'analyse de variance (tab.08) indique que la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne de *B. madritensis* L. sont significativement affectés à $P < 0.001$ par le facteur concentration des deux espèces allélopathiques.

La comparaison des moyennes (tab.08) montre que toutes les concentrations des deux espèces allélopathiques inhibent significativement à $P < 0.05$ la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne.

L'effet sur la germination

Nous remarquons que l'effet inhibiteur de l'huile d' *E. globulus* sur la germination de *B. madritensis* est élevé et même total aux concentrations 0.6 et 0.8 μl (fig.09). Pour l'huile d'*A. herba-alba*, l'inhibition la plus élevée est obtenue à la concentration 0.6 μl , elle est de 81%.

L'effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Dès la concentration 0.4 μl , l'inhibition de la LR et la LPA par l'huile d' *E. globulus* est très élevée, elle est de 90 et 88% respectivement. À la concentration 0.2 μl l'effet inhibiteur de l'huile d'*A. herba-alba*, est plus élevé que celui d'*E. globulus* et dépasse à la concentration 0.8 μl (95%) pour les deux paramètres LR et LPA (fig.09)

En général, les deux espèces allélopathiques possèdent un effet inhibiteur élevé sur la germination et le développement de *B. madritensis*. Cet effet est plus marqué aux concentrations 0.4, 0.6 et 0.8 μl .

2.1.4 Effet sur la roquette sauvage (*Diplotaxis tenuifolia* L.)

L'analyse de variance (tab.09) indique que la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne de *D. tenuifolia* L. sont significativement affectés à $P < 0.001$ par le facteur concentration des huiles des deux espèces allélopathiques

Tableau 08: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Bromus madritensis* L.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	95a	3.0a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		54.5b	1.1c	2.5c
	0.4 µl		37.5d	1.0c	1.4d
	0.6 µl		17.5e	0.7c	0.5 ^e
	0.8 µl		17.5e	0.1d	0.3 ^e
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	4157.20***	5.83***	22.0***
	Erreur	15	213.86	0.204	0.93
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		47.5b	2.3b	3.2b
	0.4 µl		5.0c	0.3cd	0.7 ^e
	0.6 µl		0.0d	0.0d	0.0f
	0.8 µl		0.0d	0.0d	0.0f
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	6320.0***	8.39***	27.46***
	Erreur	15	25.0	0.79	0.22

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$.

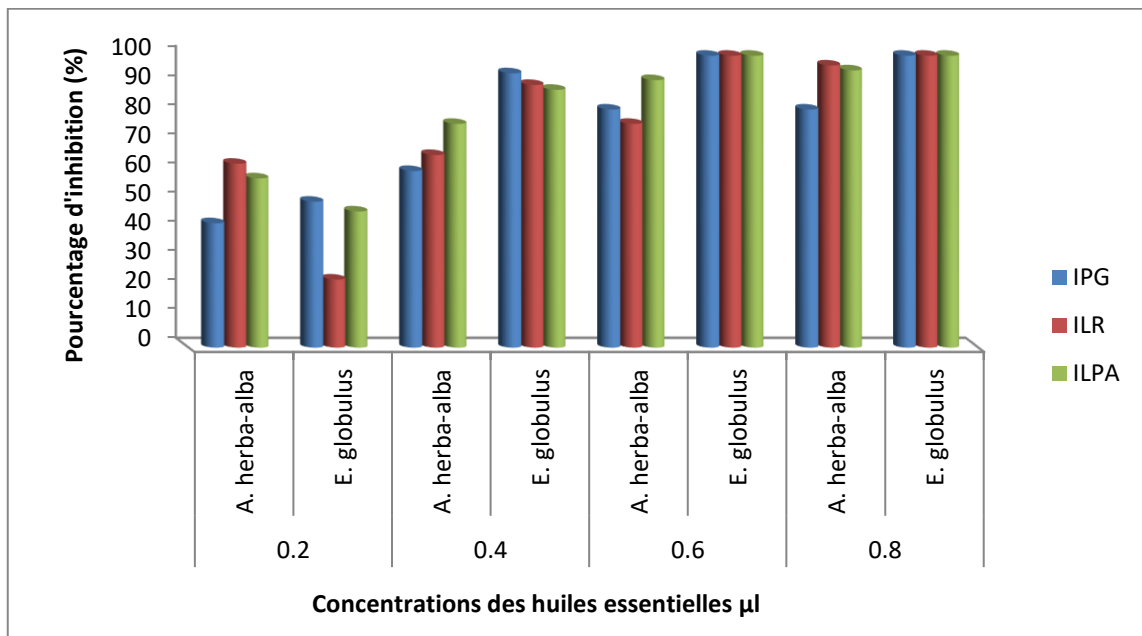


Figure 09: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Bromus madritensis* L.

La comparaison des moyennes (tab.09) indique que toutes les concentrations de l'huile d'*E. globulus* inhibent significativement à $P < 0.05$ la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne de *D. tenuifolia*. À la concentration 0.2µl les trois paramètres ne sont pas affectés par l'huile d'*A. herba-alba*, par contre sont inhibés significativement par les autres concentrations.

L'effet sur la germination

L'espèce *E. globulus* aux trois concentrations (0.4, 0.6 et 0.8µl) montre une inhibition totale de la germination des graines de *D. tenuifolia*, elle dépasse 86% à la concentration 0.2 µl (fig.10). Pour l'espèce *A. herba-alba* l'inhibition est très faible à la concentration 0.2 µl (3%), elle augmente à 0.4 µl (68%) et elle est totale aux concentrations 0.6 et 0.8 µl.

L'effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Les pourcentages d'inhibition de la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne par *A. herba-alba* sont très faibles à la concentration 0.2 µl, ils ne dépassent pas 11% (fig.10). Alors qu'ils sont élevés pour les autres concentrations des deux espèces allélopathiques.

En général, le pouvoir inhibiteur des deux espèces allélopathiques est très élevé sur la germination et sur le développement des plantules de *D. tenuifolia*. À la faible concentration (0.2µl), le pouvoir inhibiteur d'*A. herba-alba* est faible par rapport à celui d'*E. globulus*.

2.1.5 Effet sur l'orge des rats (*Hordeum murinum* L.)

L'analyse de variance (tab.10) indique que le pourcentage de germination (PG) de *H. murinum* est significativement affectée à $P < 0.05$ et $P < 0.001$ par l'armoise blanche et l'eucalyptus respectivement. L'ANOVA indique également que la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne sont affectées à $P < 0.001$ par le facteur concentration des deux espèces allélopathiques.

La comparaison des moyennes indique que l'*E. globulus* inhibent significativement à $P < 0.05$ la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Tableau 09: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Diplotaxis tenuifolia* L.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
	Témoin 00 µl		57a	3.7a	4.8a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		52a	3.3a	4.3a
	0.4 µl		7.5b	0.7b	1.3b
	0.6 µl		00c	00c	00d
	0.8 µl		00c	00c	00d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	3357.5***	13.29***	21.73***
	Erreur	15	28.33	0.14	0.45
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		7.5b	0.4b	0.6c
	0.4 µl		0.0c	0.0c	0.0d
	0.6 µl		0.0c	0.0c	0.0d
	0.8 µl		0.0c	0.0c	0.0d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	2300.0***	11.62***	18.44***
	Erreur	15	25.0	0.72	0.12

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$.

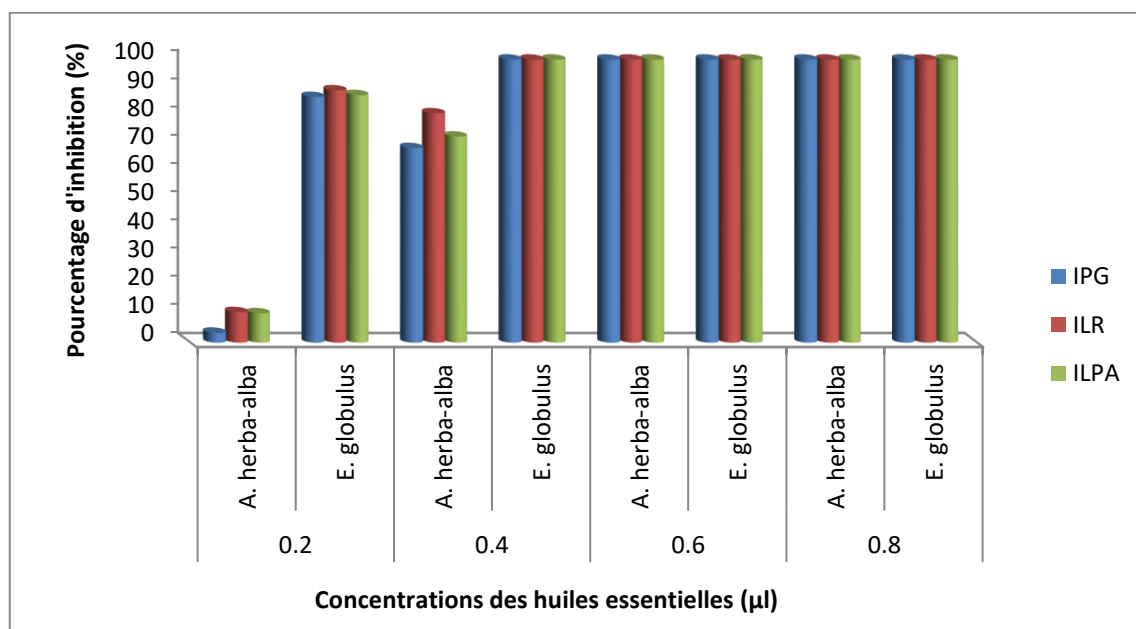


Figure 10: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Diplotaxis tenuifolia* L.

d' *H. murinum*. Alors que l'huile d'*A. herba-alba* n'affecte pas ces trois paramètres à la concentration 0.2µl (tab.10).

Effet sur la germination

Les résultats obtenus (fig.11) montrent que la germination des semences d'*H. murinum* est fortement inhibée par l'huile d'*E. globulus*, dont elle dépasse 65% à la faible concentration (0.2 µl). L'effet inhibiteur d'*A. herba-alba* est faible, il est moins de 49 % à la concentration de 0.8 µl et de -3% (stimulation) à la concentration 0.2 µl.

Effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Nous remarquons qu'à l'exception de la concentration 0.2 µl, toutes les doses de l'huile d'*E. globulus* inhibent fortement le développement des plantules d' *H. murinum*. Contrairement, l'inhibition par l'huile d'*A. herba-alba* est très faible, la LPA est stimulée (-2%) à la concentration de 0.2 µl, l'ILR et l'ILPA sont respectivement de 46% et 40% à la concentration 0.8 µl (fig.11).

D'une manière générale, l'huile d'*E. globulus* possède un effet inhibiteur élevé sur la germination et le développement d'*H. murinum* par rapport à l'huile d'*A. herba-alba*. L'inhibition de la racine est plus élevée que celle de la longueur de la partie aérienne et l'effet inhibiteur des deux espèces allélopathiques augmente lorsque la concentration s'accroît.

2.1.6 Effet sur la centaurée de salamanque (*Mantisalca salmentica* (L.) Briq. & Cavill)

L'analyse de variance (tab.11) indique que la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne de *M. salmentica*, sont significativement affectés à $P < 0.001$ par l'effet concentration des deux espèces allélopathiques.

La comparaison des moyennes (tab.11) indique que les huiles des 2 espèces allélopathiques inhibent significativement à $P < 0.05$ la germination, la Longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne de *M. salmentica* en comparaison avec le témoin.

Tableau 10: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d'*Hordeum murinum* L.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	65a	5.6a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		67.5a	5.0a	6.1a
	0.4 µl		55b	4.0b	5.4b
	0.6 µl		55b	3.6b	4.8c
	0.8 µl		33.7c	2.4d	3.6d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	707.50*	6.103***	5.295***
	Erreur	15	222.11	0.116	0.281
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		22.5d	2.9b	3.9d
	0.4 µl		2.5ef	0.4cd	0.6cd
	0.6 µl		0.0f	0.0d	0.0d
	0.8 µl		0.0f	0.0d	0.0d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	2667.5***	22.04***	30.06***
	Erreur	15	36.66	0.15	0.34

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. *** Signification à $P < 0.001$. * Signification à $P < 0.05$.

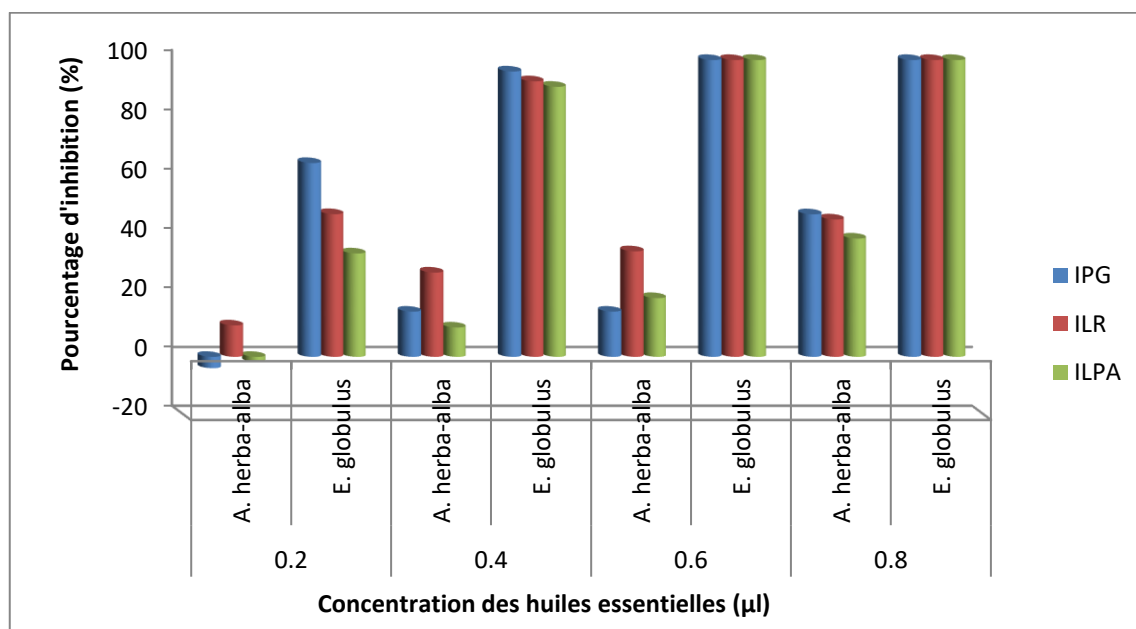


Figure 11: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) d'*Hordeum murinum* L.

Tableau 11: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Mantisalca salmentica* (L.) Briq. & Cavill.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	60a	4.2a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		27c	1.1b	2.2b
	0.4 µl		7.5d	0.6c	0.7c
	0.6 µl		7.5d	0.5c	0.6c
	0.8 µl		0.0e	0.0d	0.0d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	1755.0***	10.27***	14.42***
	Erreur	15	46.66	0.173	0.27
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		47.5b	0.3c	0.9c
	0.4 µl		5.0d	0.1cd	0.3cd
	0.6 µl		0.0e	0.0d	0.0d
	0.8 µl		0.0e	0.0d	0.0d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	3350.00***	12.55***	17.25***
	Erreur	15	25.00	0.19	0.37

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$.

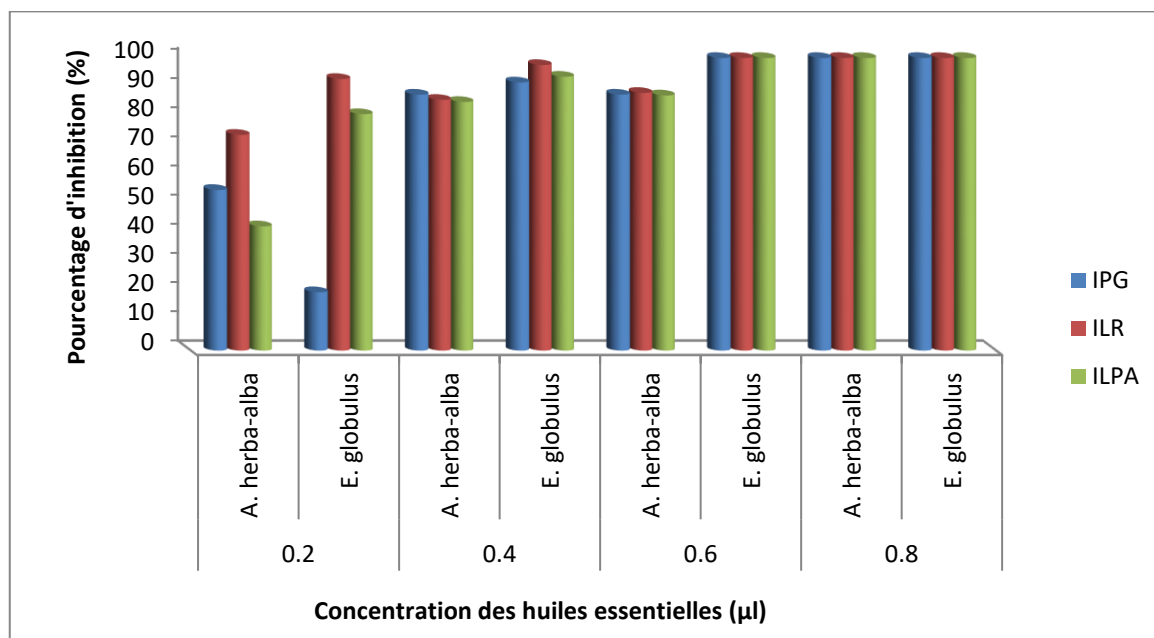


Figure 12: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Mantisalca salmentica* (L.) Briq. & Cavill.

Effet sur la germination

Nous remarquons (fig. 12) qu'à la concentration 0.2µl, le pourcentage d'inhibition le plus élevé de la germination est obtenu pour l'huile d'A. *herba-alba* (55%). À des concentrations plus élevées, l'huile d'E *globulus* est le plus inhibiteur (91% -100%).

Effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Les résultats obtenus montrent que les huiles essentielles des deux espèces allélopathiques présentent un effet inhibiteur très élevé sur la LR et la LPA (plus de 85 %) dès que la concentration dépasse 0.4 µl. L'ILR et l'ILPA les plus faibles sont obtenus à la concentration 0.2 µl par l'huile d'A. *herba-alba*, ils sont de (73%) et (42%) respectivement (fig.12).

Nous remarquons que le pouvoir inhibiteur d'E. *globulus* est plus élevé par rapport à celui d'A. *herba-alba*. En générale, l'inhibition augmente lorsque la concentration des huiles augmente et l'inhibition de la longueur de la racine est relativement plus élevée que celle de la longueur de la partie aérienne.

2.1.7 Effet sur la galinette (*Scorzonera laciniata* L.)

L'analyse de variance (tab.12) indique que le pourcentage de germination (PG) et la longueur de la racine de *S. laciniata* sont affectés à $P < 0.001$ par le facteur concentration des deux espèces allélopathiques. L'ANOVA indique également que la longueur de la partie aérienne est significativement affectée à $P < 0.01$ et $P < 0.001$ par l'armoise blanche et l'eucalyptus respectivement.

La comparaison des moyennes (tab.12) indique que l'huile d'E. *globulus* inhibe significativement à $P < 0.05$ les trois paramètres étudiés (PG, LR et LPA) de *S. laciniata*. Alors que l'huile d'A. *herba-alba* n'affecte pas la germination (à la concentration 0.4 µl), la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne (aux concentrations 0.2, 0.4 et 0.6 µl), en comparaison avec le témoin.

Tableau 12: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Scorzonera laciniata* L.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	52.5a	3.1a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		42.5b	2.9a	6.0a
	0.4 µl		50a	2.7a	5.7a
	0.6 µl		35c	2.7a	5.4ab
	0.8 µl		7.5d	0.7b	2.2c
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	1312.50***	3.83***	11.14**
	Erreur	15	48.33	0.19	1.32
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		10b	0.8b	1.7c
	0.4 µl		0.0e	0.0c	0.0d
	0.6 µl		0.0e	0.0c	0.0d
	0.8 µl		0.0e	0.0c	0.0d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	2075.00***	7.68***	27.06***
	Erreur	15	18.33	0.83	0.31

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$. **Signification à $P < 0.01$

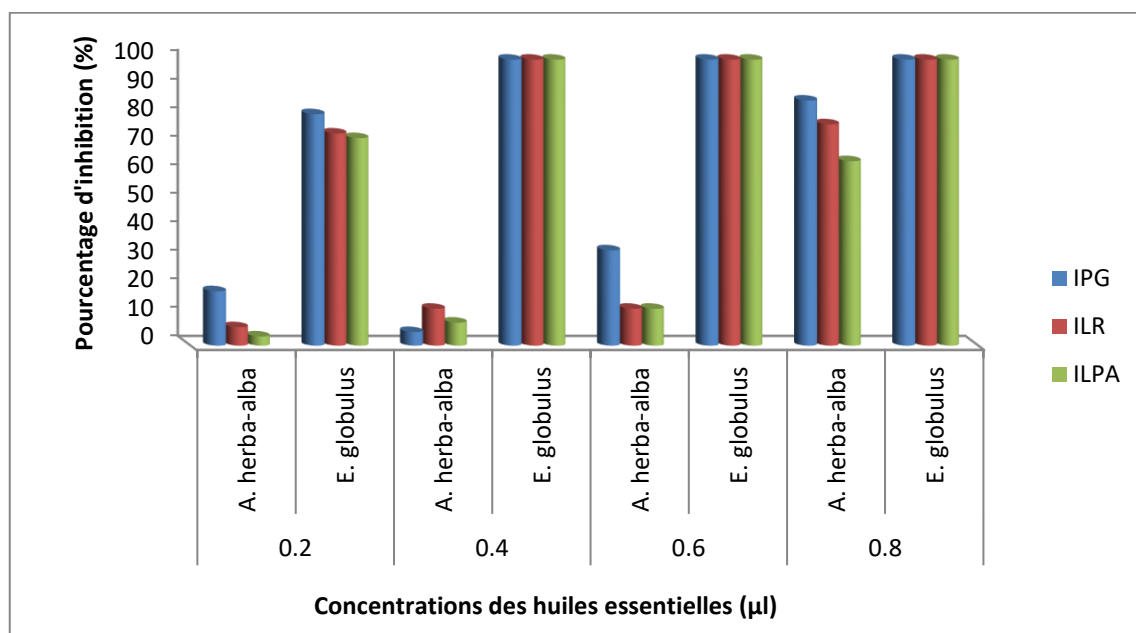


Figure 13: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Scorzonera laciniata* L.

Effet sur la germination

L'espèce *E. globulus* aux trois concentrations (0.4, 0.6 et 0.8 μ l) montre une inhibition totale de la germination des graines de *S. laciniata*, elle dépasse 80% à la concentration 0.2 μ l (fig.13). L'effet inhibiteur d' *A. herba-alba* est faible, il représente 19, 4 et 33% pour les concentrations 0.2, 0.4 et 0.6 μ l respectivement, il augmente à 0.8 μ l (87%).

Effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Nous remarquons que toutes les concentrations de l'huile d'*E. globulus* inhibent fortement le développement des plantules de *S. laciniata*. Contrairement l'inhibition par l'huile d'*A. herba-alba* est très faible qu'à l'exception de la concentration 0.8 μ l, ILR et ILPA qui représentent respectivement 77% et 64% (fig. 13).

D'une façon générale, l'huile d'*E. globulus* possède un effet inhibiteur élevé sur la germination et le développement de *S. laciniata* par rapport à l'huile d'*A. herba-alba*. L'inhibition de la racine est plus élevée que celle de la longueur de la partie aérienne.

2.1.8 Effet sur le chardon- marie (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.)

L'analyse de variance (tab.13) indique que la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne de *S. marianum*, sont significativement affectés à $P < 0.001$ par le facteur concentration des deux espèces allélopathiques.

La comparaison des moyennes (tab.13) montre que toutes les concentrations des deux espèces allélopathiques inhibent significativement à $P < 0.05$ la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne.

Effet sur la germination

Les résultats obtenus (fig.14) montrent que la germination des graines de *S. marianum* est fortement inhibée par l'huile d'*E. globulus*, dont elle dépasse 90% à la faible concentration (0.2 μ l). Pour l'huile d'*A. herba-alba*, l'inhibition est faible à la concentration 0.2 μ l (22%), elle s'augmente à 0.4 μ l (59%) et elle dépasse 90% à 0.6 μ l.

Tableau 13: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Sylibum marianum* (L.) Gaertn.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	55a	6.7a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		42.5b	6.0ab	4.2b
	0.4 µl		22.5c	5.1b	4.0b
	0.6 µl		5.0d	2.7c	2.1c
	0.8 µl		0.0e	0.0e	0.0d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	2237.50***	30.27***	18.86***
	Erreur	15	23.33	2.06	1.30
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		5.0d	1.1d	0.9d
	0.4 µl		0.0e	0.0e	0.0e
	0.6 µl		0.0e	0.0e	0.0e
	0.8 µl		0.0e	0.0e	0.0e
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	2120.00***	33.39***	24.529***
	Erreur	15	11.66	0.37	0.28

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$.

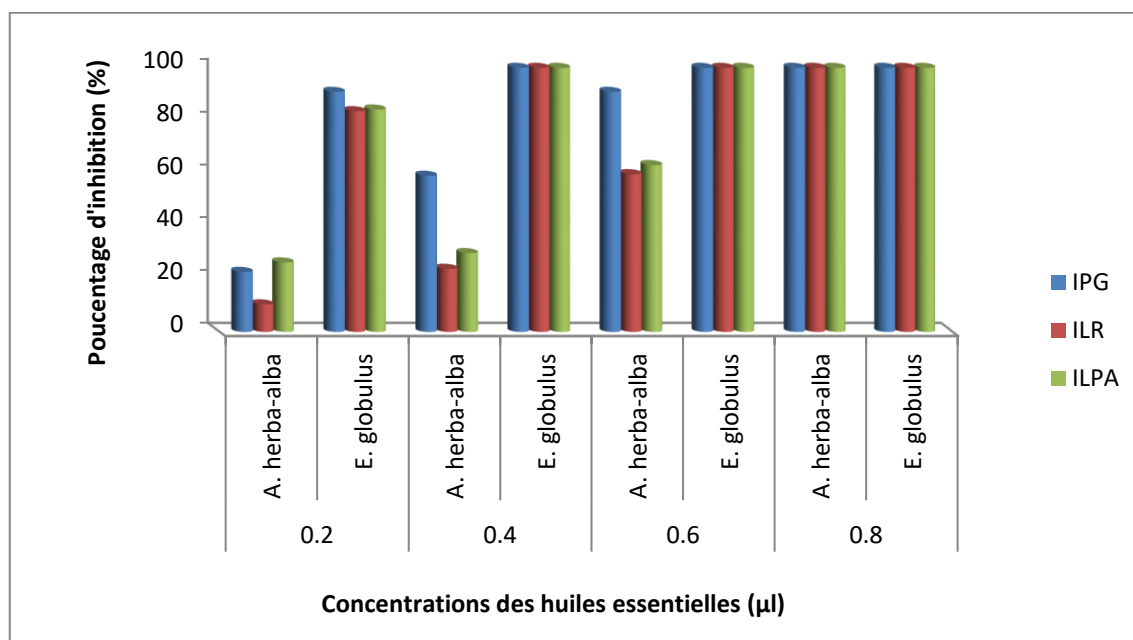


Figure 14: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Sylibum marianum* (L.) Gaertn.

Effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Les pourcentages d'inhibition de la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne par l'huile d' *A. herba-alba* sont très faibles aux concentrations 0.2 et 0.4 μ l (fig.14). Alors qu'ils sont totalement inhibés avec l'huile d'*E. globulus* dès 0.4 μ l.

Nous remarquons que le pouvoir inhibiteur d'*E. globulus* est élevé que celui d'*A. herba-alba*. En général, l'inhibition augmente lorsque la concentration des huiles augmente et l'inhibition de la longueur de la partie aérienne est plus élevée que celle de la longueur de la racine.

2.1.9 Effet sur la moutarde des champs (*Sinapis arvensis* L.)

L'analyse de la variance indique que le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Sinapis arvensis* sont significativement affectés à $P < 0.001$ (tab.14) du facteur concentration des huiles essentielles des deux espèces allélopathiques.

La comparaison des moyennes (tab.14) indique que toutes les concentrations testées affectent significativement la longueur de la partie aérienne et la longueur racinaire à $P < 0.05$. Alors que les deux espèces allélopathiques n'ont pas d'effet significatif sur la germination à 0.2 μ l en comparaison avec le témoin.

Effet sur la germination

Les résultats obtenus (fig.15) montrent que l'effet inhibiteur d'*A. herba-alba* sur la germination des graines de *Sinapis arvensis* est très faible, il est de 32 % à la concentration de 0.8 μ l et inhibition est nulle à la concentration 0.2 μ l. Pour l'huile d'*E. globulus*, l'inhibition est très faible à la concentration 0.2 μ l (4%), elle augmente à 56% pour la concentration 0.4 μ l et elle dépasse 95% à 0.8 μ l.

Effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

L'inhibition de la LR et la LPA par l'huile d' *E. globulus* est élevée, elle est de 66 % et 46% respectivement à la concentration 0.2 μ l et augmente jusqu'à 95 et 83% respectivement à la concentration 0.8 μ l. L'effet inhibiteur de l'huile d'*A. herba-alba* est moins élevé que celui d'*E. globulus* (fig.15).

Tableau 14: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Sinapis arvensis* L.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	62.5a	2.1a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		62.5a	1.1b	1.7b
	0.4 µl		57.5b	1.1b	1.7b
	0.6 µl		42.5c	0.7c	1.3b
	0.8 µl		42.5c	0.6c	1.5b
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	420.0***	1.13***	0.66***
	Erreur	15	38.3	0.21	0.35
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		60a	0.7c	1.4b
	0.4 µl		27.5d	0.3cd	0.6c
	0.6 µl		25d	0.5c	0.7c
	0.8 µl		3e	0.1cd	0.4c
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	2559.70***	2.60***	2.58***
	Erreur	15	34.53	0.27	0.85

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$.

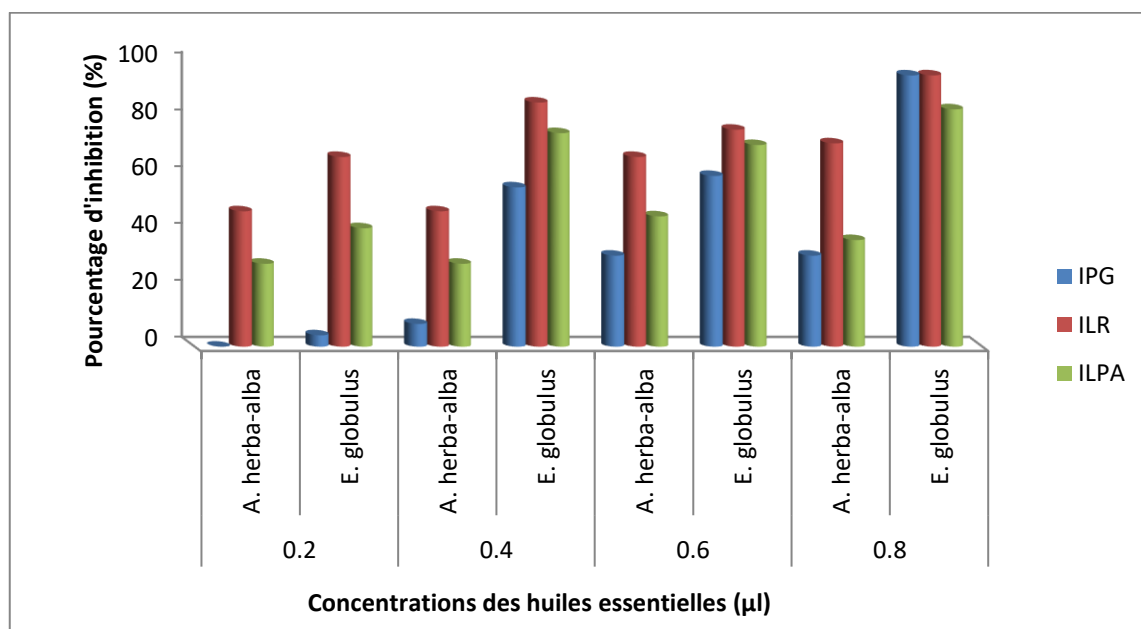


Figure 15: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Sinapis arvensis* L.

En général, l'huile d'*E. globulus* possède un effet inhibiteur élevé sur la germination et le développement de *S. arvensis* par rapport à l'huile d'*A. herba-alba*. L'inhibition de la racine est plus élevée que celle de la longueur de la partie aérienne.

2.2 Effet des huiles essentielles sur les variétés de blé dur

2.2.1 Effet sur la variété Mbb

L'analyse de variance (tab.15) indique que le pourcentage de germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne de la variété de blé dur Mbb sont affectés à $P < 0.001$ par le facteur concentration de l'huile d' *E. globulus*. L'ANOVA indique également que ces trois paramètres (PG, LR et LPA) sont significativement affectés à $P < 0.001$, $P < 0.01$ et $P < 0.05$ par l'armoise blanche respectivement.

La comparaison des moyennes (tab.15) indique que l'huile d'*E. globulus* inhibe significativement à $P < 0.05$ les trois paramètres étudiés (PG, LR et LPA) de la variété de blé dur Mbb. Alors que l'huile d'*A. herba-alba* n'affecte pas la germination à la concentration 0.2 μl , la longueur de la racine (aux concentrations 0.2 et 0.8 μl) et la longueur de la partie aérienne (aux concentrations 0.2 et 0.4 μl) en comparaison avec le témoin.

Effet sur la germination

Les résultats obtenus (fig.16) montrent que l'effet inhibiteur d' *A. herba-alba* sur la germination des graines de blé de la variété Mbb est très faible. Il ne dépasse pas 24% à la concentration 0.8 μl et il l'a stimule (-10%) à la concentration 0.2 μl . Pour l'huile d'*E. globulus*, l'inhibition est très élevée. Elle dépasse 90% à la concentration 0.6 μl .

Effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Les pourcentages d'inhibition les plus élevés de la LR et la LPA sont obtenus par l'huile d' *E. globulus* à la concentration 0.4 μl , ils dépassent 82% pour la LR et 65 % pour la LPA. En ce qui concerne l'espèce *A. herba-alba*, à la concentration 0.2 μl la LR et la LPA sont stimulées (- 5 et -7 % respectivement), à des concentrations plus élevées, l'inhibition de la LPA augmente et ne dépasse pas 24% à la concentration 0.8 μl . Alors

Tableau 15: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Mbb.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
	Témoin 00 µl		75b	7.5a	11.2b
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		82.5a	7.9a	12.0a
	0.4 µl		67.5c	5.9b	10.6b
	0.6 µl		62.5cd	6.0b	9.8c
	0.8 µl		57.5d	7.4a	8.5d
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	395.00***	3.49**	8.37*
	Erreur	15	40.0	0.58	1.87
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		42.5e	2.5e	4.8e
	0.4 µl		25f	1.3d	3.9f
	0.6 µl		7.5g	0.2ef	0.7g
	0.8 µl		0.0h	0.0f	0.0h
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	4082.50***	33.4215***	71.7183***
	Erreur	15	56.6667	0.239218	0.63460

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$. **Signification à $P < 0.01$. *Signification à $P < 0.05$.

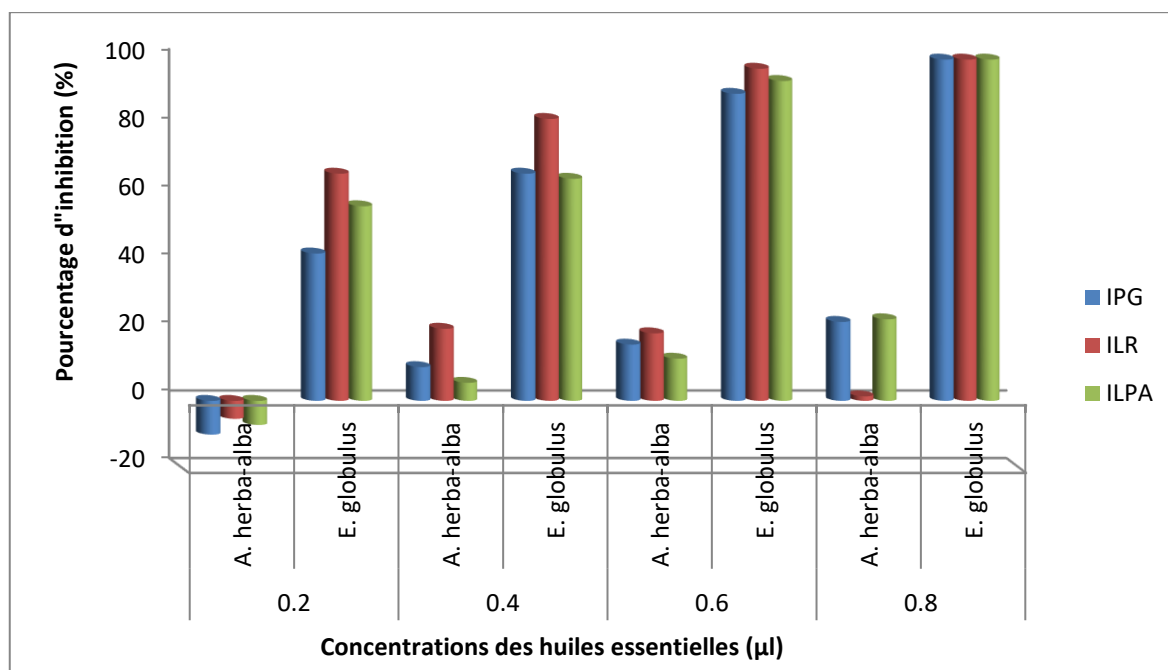


Figure 16: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Mbb.

que l'inhibition de la LR la plus élevée est observée à la concentration 0.4 μl (21%) (fig.16).

En général, l'huile d'*E. globulus* possède un effet inhibiteur très élevé sur la germination et la croissance des plantules de la variété Mbb par rapport à l'huile d'*A. herba-alba*.

2.2.2 Effet sur la variété Waha

L'analyse de la variance indique que le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété Waha, sont significativement affectés à $P < 0.001$ (tab.16) du facteur concentration des huiles essentielles des deux espèces allélopathiques.

La comparaison des moyennes (tab.16) montre que toutes les concentrations des deux espèces allélopathiques inhibent significativement à $P < 0.05$ la germination, la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne.

Effet sur la germination

Nous remarquons que l'effet inhibiteur de l'huile d'*E. globulus* sur la germination des graines de blé de la variété Waha est élevé et même total aux concentrations 0.6 et 0.8 μl (fig.17). Pour l'huile d'*A. herba-alba*, l'inhibition la plus faible est obtenue à la concentration 0.2 μl , elle est de 20%. Et atteinte 96% à la concentration 0.8 μl .

Effet sur la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne

Les pourcentages d'inhibition de la longueur de la racine et la longueur de la partie aérienne par *A. herba-alba* sont faibles aux concentrations 0.2 et 0.4 μl (fig.17). Alors qu'ils sont fortement inhibés pour les autres concentrations des deux espèces allélopathiques.

Nous remarquons que le pouvoir inhibiteur d'*E. globulus* est plus élevé que celui d'*A. herba-alba*. L'inhibition augmente lorsque la concentration des huiles augmente.

Tableau 16: Effet des HE d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill. sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Waha.

Espèces allélopathiques	Concentrations		PG (%)	LR (cm)	LPA (cm)
		Témoin	00 µl	72.5a	7.0a
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.	0.2 µl		57.5b	4.7b	7.6b
	0.4 µl		25c	5.1b	7.3b
	0.6 µl		7.5d	2.2c	3.1c
	0.8 µl		2.5ef	0.6d	0.9e
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	3805.00***	25.366***	64.38***
	Erreur	15	53.33	1.69	3.68
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	0.2 µl		22.5c	2.7c	3.9c
	0.4 µl		2.5ef	0.3de	0.5e
	0.6 µl		0.0f	0.0e	0.0f
	0.8 µl		0.0f	0.0e	0.0f
	Source de variation	ddl	ANOVA		
	Concentrations	4	3357.50***	36.16***	83.29***
	Erreur	15	14.99	0.11	0.31

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test Fischer LSD à $P < 0.05$. ***Signification à $P < 0.001$.

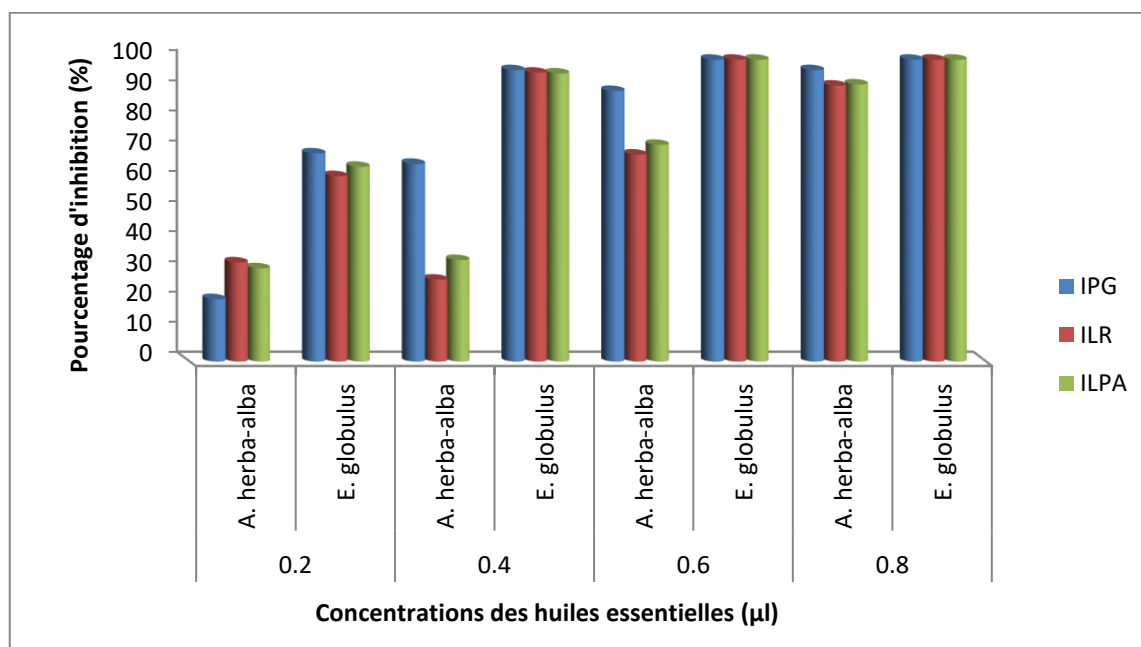


Figure 17: Effet inhibiteur des HE d'*A. herba-alba* Asso. et d'*E. globulus* Labill. aux différentes concentrations sur le pourcentage de germination (PG), la longueur de la racine (LR) et la longueur de la partie aérienne (LPA) de la variété de blé dur Waha.

3. Comparaison des pourcentages d'inhibition entre toutes les espèces (adventices et variétés blé dur)

Afin d'analyser les réponses des espèces adventices aux différents traitements, nous comparons les pourcentages d'inhibition (IG, ILR et ILPA) obtenus à la même concentration de l'huile essentielle de chaque espèce allélopathique. Dans les présentations graphiques suivantes les espèces adventices sont triées dans l'ordre décroissant selon l'inhibition de la germination (IG). Les deux variétés de blé dur Mbb et Waha sont positionnées en premier ordre et séparées des espèces adventices. Sur ces graphes sont présentés aussi les ILR et les ILPA.

3.1 L'effet de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* Asso.

3.1.1 A la concentration 0.2 µl

Nous avons révélé dans la deuxième partie de ce chapitre, que la germination des espèces; *A. fatua*, *D. tenuifolia*, et *S. arvensis* n'est pas inhibée significativement à cette concentration. Elle est stimulée pour l'*H. murinum* (-3%), *A. visnagna* (-7%) et la variété de blé Mbb (-10%). Pour les autres espèces adventices, le pourcentage d'inhibition de la germination varie d'une espèce à une autre (fig.18), le plus élevé est de 55 % pour *M. salmentica* et le plus bas est de 19 % pour *S. Laciniata*. L'IPG de la variété Waha est de l'ordre de 20%.

Concernant l'effet sur la LR, les résultats obtenus révèlent aussi que les trois espèces *D. tenuifolia*, *H. murinum* et *S. laciniata* ne sont pas inhibées et la variété de blé Mbb est stimulée (-5), alors que la variété de blé Waha et les autres adventices sont inhibées significativement en comparaison avec les témoins (fig.18). Le pourcentage d'inhibition de la LR varie d'une espèce à une autre. Les deux espèces *M. salmentica* et *B. madritensis* sont les plus inhibées (73 et 63 % respectivement). Par contre, *S. marianum* et *A. fatua* sont les moins inhibées (10 % et 7 % respectivement).

Les deux espèces dont la longueur de partie aérienne (LPA) n'est pas inhibée significativement sont *D. tenuifolia* et *S. laciniata*. Les LPA d'*A. fatua* et *H. murinum* sont stimulées (-7 et -1% respectivement). Nous avons obtenu le même effet sur la variété de blé Mbb avec un pourcentage de -7 %. Pour le reste des espèces le pourcentage d'inhibition varie de 26% (*S. marianum*) à 58 % (*B. madritensis*)(fig.18).

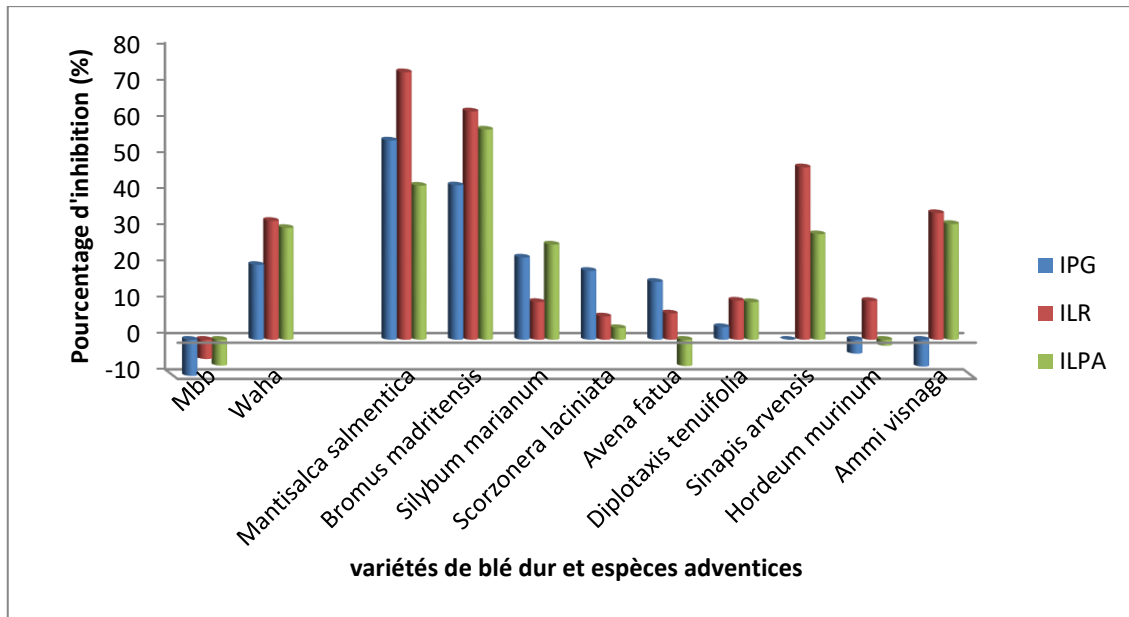


Figure 18: Effet de l'HE d'*A. herba-alba* Asso. 0.2 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

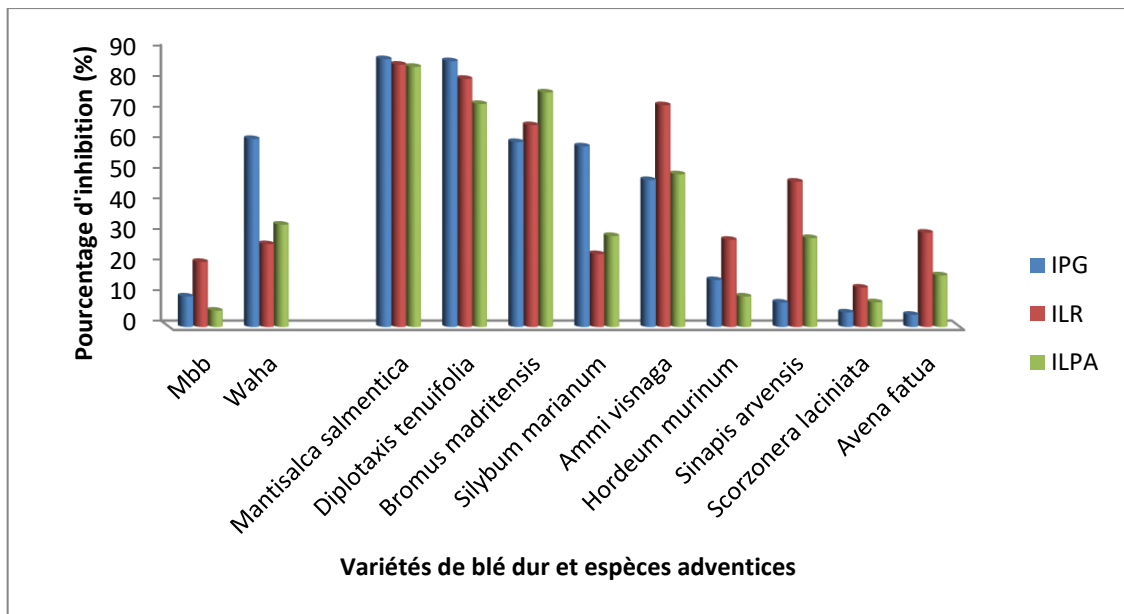


Figure 19: Effet de l'HE d'*A. herba-alba* Asso. 0.4 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

3.1.2 À la concentration 0.4 µl

Les tests que nous avons effectués ont montrés que la germination de la seule espèce *S. lacianita* n'est pas significativement inhibée par l'huile d'*A. herba-alba* à cette concentration. L'IPG des autres espèces varie de 4% (*A. fatua*) à 87% (*M. salmentica*). Pour les deux variétés de blé, l'inhibition de Waha (30%) est plus élevée que celle de Mbb (10%) (fig.19).

Egalement, l'espèce *S. lacianita* est la seule dont ILR et ILPA ne sont pas significativement inhibées. Nous remarquons que l'inhibition de la croissance des plantules varie selon les espèces. L'inhibition de *M. salmentica* (85%) est la plus élevée et d'*H. murinum* (14%) est la plus faible. Cette inhibition est de l'ordre de 13% chez la variété Mbb et 30% chez Waha (fig.19).

3.1.3 À la concentration 0.6 µl

A cette concentration, l'huile d'*A. herba-alba* affecte significativement la germination des deux variétés de blé et toutes les espèces adventices à l'exception d'*A. fatua*. L'espèce *D. tenuifolia* est inhibée totalement et l'inhibition des trois autres est élevée (plus de 80 %). Le plus faible des pourcentages d'inhibition est noté pour *H. murinum* (15%) (fig.20).

L'inhibition de la LR de la variété de blé Waha et de la majorité des espèces adventices (six espèces) dépasse 60%, le pourcentage d'inhibition le plus faible est de 13%, il est noté sur *S. lacianita*. Pour la LPA l'inhibition des espèces *A. visnaga*, *B. madritensis*, *D. tenuifolia* et *M. salentica* est dépasse 87 % alors qu'elle varie de 13% à 71 % (fig.20) pour le reste des espèces (les adventices et variétés de blé).

3.1.4 À la concentration 0.8 µl

Les résultats obtenus pour cette concentration, ont montrés que l'inhibition de la germination des espèces *A. visnaga*, *S. marianum*, *D. tenuifolia* et *M. salentica* est totale (fig.21). Pour les autres espèces adventices et les variétés de blé, cette inhibition varie de 23 à 96%. La germination d'*A. fatua* est stimulée (-3%).

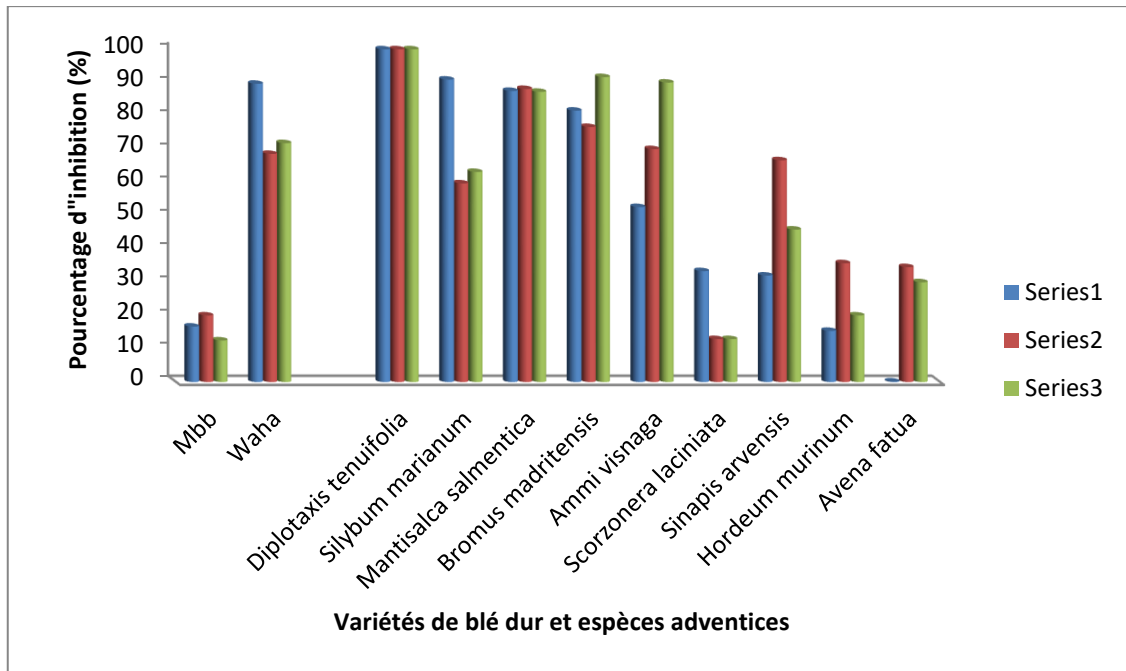


Figure 20: Effet de l'HE d'*A. herba-alba* Asso. 0.6 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

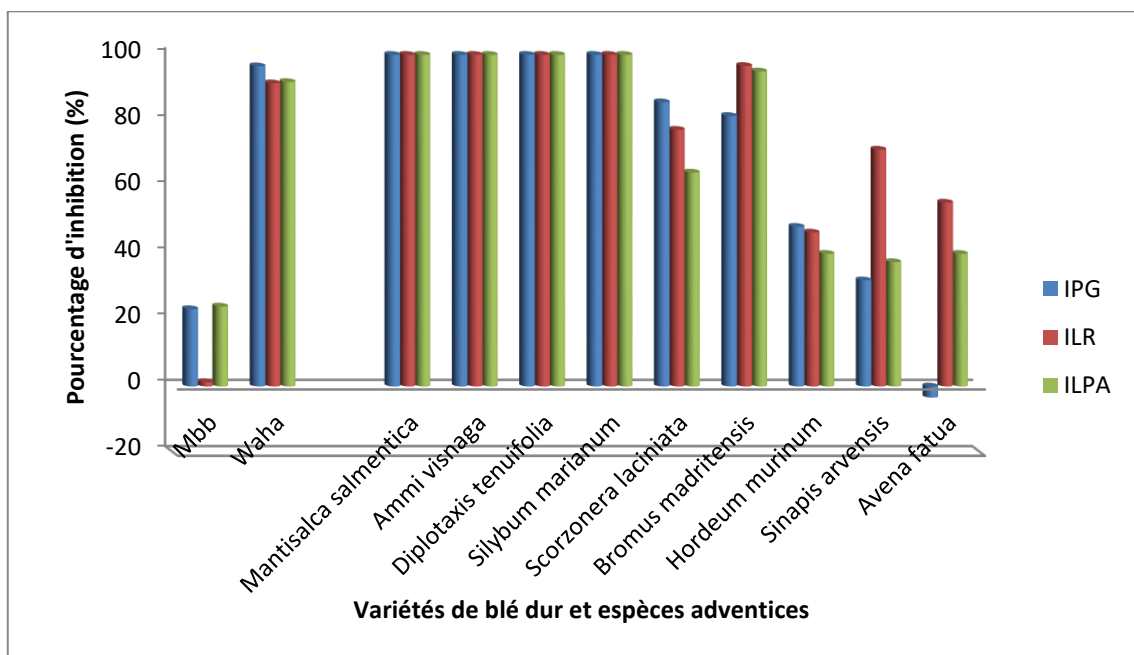


Figure 21: Effet de l'HE d'*A. herba-alba* Asso. 0.8 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

L'inhibition de la LR de la variété de blé waha et la majorité des espèces adventices dépasse 70%, le pourcentage d'inhibition le plus faible est noté pour *H. murinum* (46%). Alors que la variété de blé Mbb n'est pas significativement inhibée. Pour la LPA, nous avons montré également que des deux variétés de blé et de toutes les espèces adventices sont significativement affectées. Nous remarquons que les espèces *A. visnaga*, *S. marianum*, *D. tenuifolia*, *M. salentica*, *B. madritensis* et la variété Waha présentent des pourcentages d'inhibition très élevés (plus de 92 %) alors que la variété de blé Mbb et les autres adventices présentent des pourcentages d'inhibition compris entre 25 et 65 % (fig.21).

3.2 L'effet de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* Labill.

3.2.1 À la concentration 0.2 µl

Nous avons déjà démontré que la germination des deux variétés de blé et des espèces adventices, à l'exception de *S. arvensis*, est inhibée significativement à cette concentration (fig.22). Les pourcentages d'inhibition de la germination des deux variétés de blé et de la majorité des espèces adventices (sept espèces) dépasse 43%, le pourcentage d'inhibition le plus faible est de 20%, il est noté sur *M. salmentica*.

Les tests que nous avons effectués ont montré aussi que les LR et les LPA de toutes les espèces (blé et adventices) sont significativement inhibées. Sur la figure 22 nous remarquons que le pourcentage d'inhibition le plus élevé de la LR est noté pour *M. salmentica* (93 %) et le plus faible est noté pour *B. madritensis* (23%). Pour le reste des espèces l'inhibition de la LR varie de 46 % à 86%. Pour la LPA, l'inhibition des espèces *A. visnaga*, *S. marianum*, *D. tenuifolia*, *S. lacianita*, *M. salmentica* et des variétés de blé dépasse 52 % alors qu'elle varie de 35 à 47 % pour le reste des espèces.

3.2.2 À la concentration 0.4µl

A cette concentration, nous avons déjà montré que l'huile d'*E. globulus* inhibe significativement la germination, la LR et la LPA de toutes les espèces (adventices et variétés de blé). L'inhibition de la germination est très élevée, elle varie entre 91 et 100% pour la majorité des espèces (la variété Waha et huit adventices) (fig.23). L'inhibition de la LR dépasse 82% pour les variétés de blé et toutes les adventices, sauf *H. murinum*. Pour la LPA le pourcentage d'inhibition le plus faible est de 65 %, il est noté sur la variété de blé Mbb, alors qu'elle varie de 75 à 100 % (fig.23) pour le reste

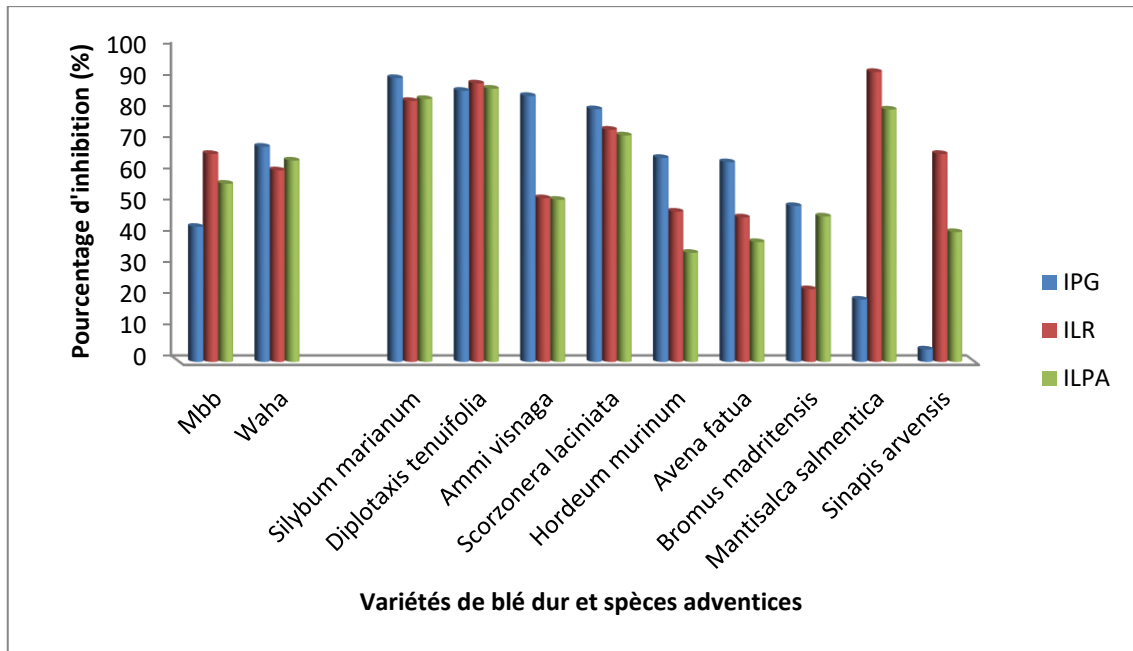


Figure 22: Effet de l'HE d'*E. globulus* Labill. 0.2 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

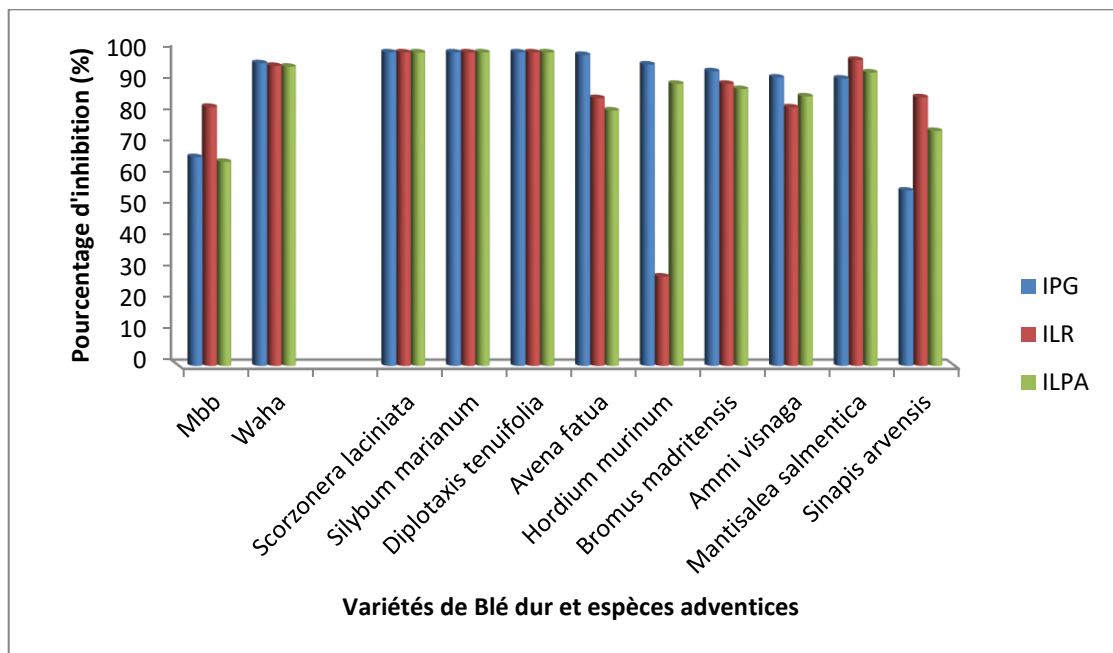


Figure 23: Effet de l'HE d'*E. globulus* Labill. 0.4 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

des espèces et la variété Waha.

3.2.3 À la concentration 0.6 µl

Les résultats que nous avons obtenus ont montré déjà que l'huile d' *E. globulus* à la concentration 0.6 µl inhibe significativement la germination de toutes les espèces adventices et les variétés de blé. L'IPG la plus faible est de 60%, noté sur *S. arvensis*, suivi par celle de la variété MBB (90%), alors qu'elle est totale pour le reste des espèces (fig.24).

Pour la LR et la LPA, nous remarquons qu'une inhibition totale est obtenue pour les espèces dont leurs l'IPG sont de 100% (fig.24). Pour l'espèce *S. arvensis* et la variété de blé Mbb, l'ILR et ILPA sont respectivement (76, 71%) et (97, 93%).

3.2.4 À la concentration 0.8 µl

Les résultats obtenus pour cette concentration, montrent que l'inhibition de la germination, de la LR et de la LPA de toutes les espèces adventices et les variétés de blé est totale (100%), sauf pour *S. arvensis*, dont IPG et ILR sont de l'ordre de 95%, ILPA est de 83% (fig.25).

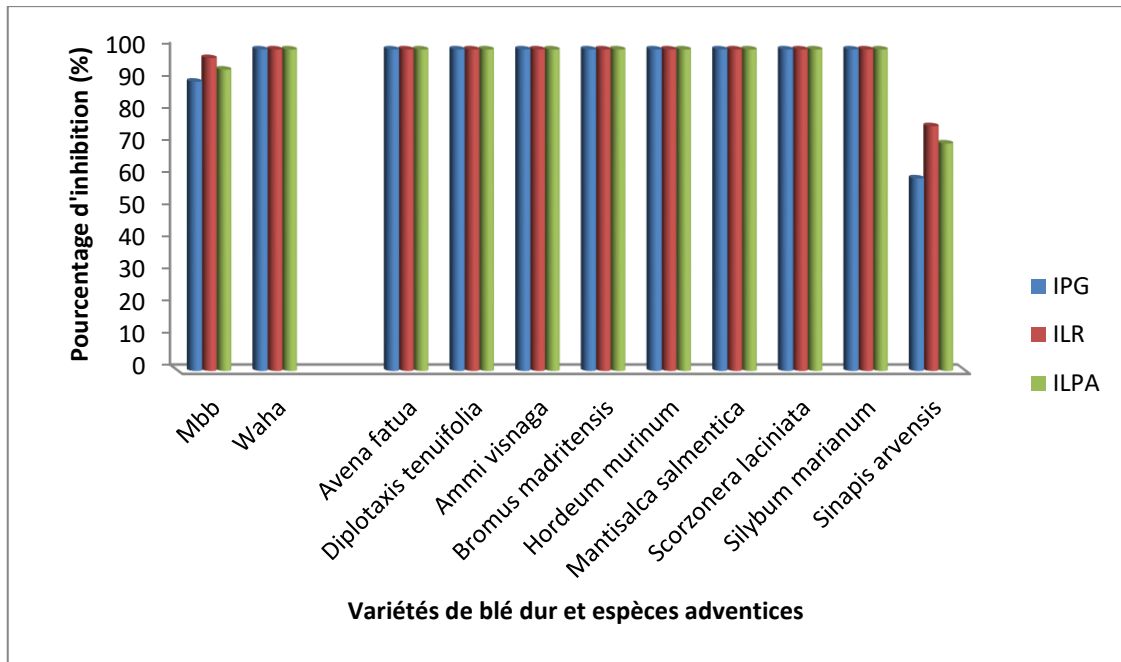


Figure 24: Effet de l'HE d'*E. globulus* Labill. 0.6 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

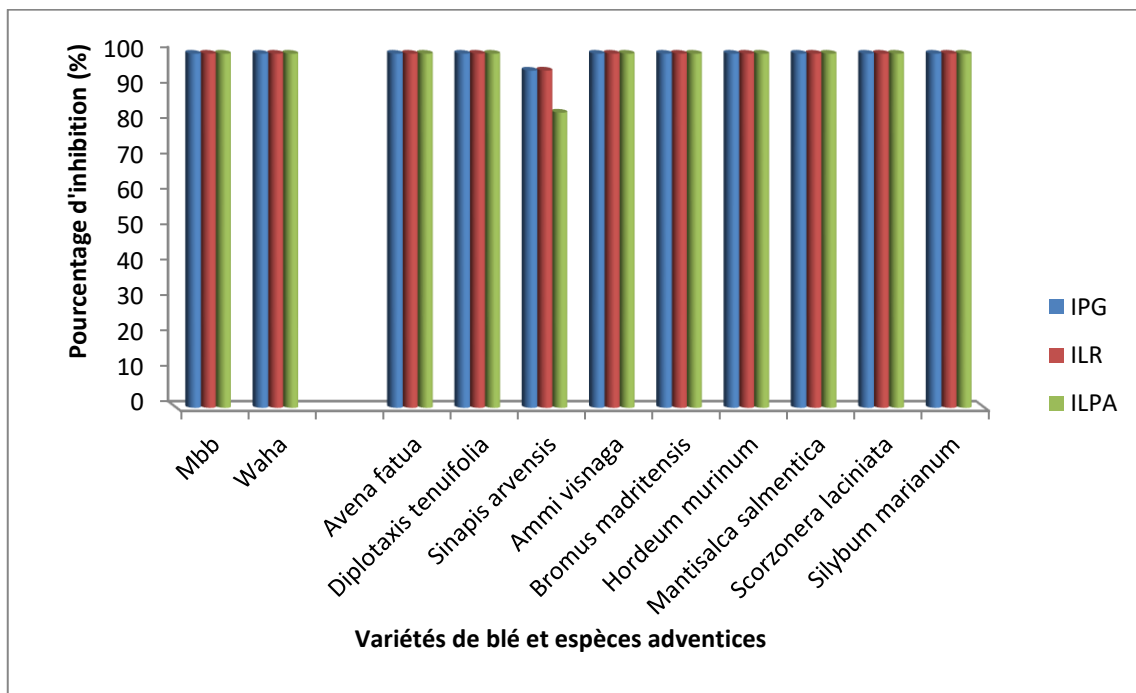


Figure 25: Effet de l'HE d'*E. globulus* Labill. 0.8 µl sur la germination (IG), la longueur de la racine (ILR) et la longueur de la partie aérienne (ILPA) des espèces adventices et variétés de blé.

4. Evaluation du potentiel allélopathique des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* Asso. et d'*Eucalyptus globulus* Labill.

Nous avons prouvé dans la deuxième partie de ce chapitre, que les huiles essentielles des deux espèces allélopathiques *A. herba-alba* et *E. globulus* possèdent un effet inhibiteur important sur la germination et la croissance des plantules de la majorité des espèces adventices et variétés de blé dur étudiées. Cet effet augmente lorsque la concentration des huiles s'accroît.

Afin d'évaluer le potentiel allélopathique des extraits huileux d'*Artemisia herba-alba* et *Eucalyptus globulus*, nous jugeons les pourcentages d'inhibition (IG, ILR et ILPA) obtenus pour chaque concentration de l'huile essentielle de chaque espèce allélopathique selon l'échelle de la CEB. Dans les tableaux suivants (tab.17 et tab.18) les espèces adventices et variétés de blé dur sont triées par ordre décroissant selon les pourcentages d'inhibition (IG, ILR et ILPA). Ce tri est arrêté à une valeur minimale d'inhibition de l'ordre de 60%.

4.1 Potentiel allélopathique de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* Asso.

Pour l'huile essentielle d'*A. herba-alba*, les résultats que nous avons obtenus montrent qu'un effet inhibiteur élevé (> 80%) a été noté chez *M. salmentica* dès la concentration 0.4 µl, *B. madritensis*, *D. tenuifolia* et la variété de blé dur Waha aux concentrations 0.6 µl et 0.8 µl, *A. visnaga*, *S. marianum* et *S. laciniata* à la concentration 0.8 µl pour les trois paramètres (G, LPA et LR) (tab.17). Ce qui correspond à une bonne à très bonne efficacité herbicide. Une moyenne efficacité herbicide est enregistrée pour la germination et la croissance des plantules de *B. madritensis*, *D. tenuifolia* et pour la germination des graines de la variété de blé dur Waha à la concentration 0.4 µl. Cette efficacité moyenne est obtenue également pour la croissance racinaire de *S. arvensis* aux concentrations 0.6 µl et 0.8 µl, *A. visnaga* aux concentrations 0.4 µl et 0.6 µl, *M. salmentica* et *B. madritensis* à 0.2 µl et pour la variété de blé Waha à la concentration 0.6 µl (tab.17).

4.2 Potentiel allélopathique de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* Labill.

Les résultats obtenus avec l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* montrent, qu'un effet inhibiteur élevé (> 80%) a été enregistré chez la majorité des espèces adventices et

variétés de blé dur, aux basses concentrations pour les trois paramètres étudiés (G, LR et LPA). Il s'agit de la germination des graines et la croissance des plantules de *S. marianum* et *D. tenuifolia*, la germination des graines de *S. laciniata* et *A. visnaga* et la croissance des plantules de *M. salmentica* dès la concentration 0.2 µl, ainsi que pour *H. murinum*, *A. fatua*, *B. madritensis* et la variété de blé waha dès la concentration 0.4 µl, également pour la variété de blé dur Mbb dès la concentration 0.6 µl et *S. arvensis* à la concentration 0.8 µl (tab. 18). Ce qui correspond à une bonne à très bonne efficacité herbicide. Une moyenne efficacité herbicide est enregistrée pour la germination et le développement des plantules de la variété de blé dur Waha, la croissance des plantules de *S. laciniata*, la germination des graines de *H. murinum* et *A. fatua*, la croissance racinaire de *S. arvensis* et la variété de blé dur Mbb à la concentration 0.2 µl. Cette efficacité moyenne est obtenue aussi pour la germination des graines et la croissance de la partie aérienne de la variété de blé Mbb à la concentration 0.4 µl, également pour la germination des graines et la croissance des plantules de *S. arvensis* à la concentration 0.6 µl et la croissance de la partie aérienne à la concentration 0.4 µl (tab. 18).

Tableau 17: Espèces adventices et variété de blé par sensibilité vis-à-vis l'HE d'A. *herba alba* (IPG, ILR et ILPA >60%)

Concentrations	0.2µl			0.4µl			0.6µl			0.8µl		
	IPG	ILR	ILPA	IPG	ILR	ILPA	IPG	ILR	ILPA	IPG	ILR	ILPA
<i>M. salmentica</i>	55%	73.8%	42.50%	87.5%	85.7%	85%	87.5%	88.1%	87.2%	100%	100%	100%
<i>B. madritensis</i>	42.63%	63%	58%	60%	66%	76.7%	81.6	76.7%	91.7%	81.6%	96.7%	95%
<i>D. tenuifolia</i>	3.5%	10.81%	10.41%	68.8%	81.1%	72.9%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Waha	20.68%	32.85%	30.9%	65.5%	27.14%	33.53%	89.6%	68.6%	71.8%	96.5%	91.42%	91.81%
<i>A. visnaga</i>	-7.4%	35%	32%	48.14%	72.5%	50%	52.59%	70%	90%	100%	100%	100%
<i>S. marianum</i>	28.72%	10.44%	26.31%	59.09%	23.83%	29.82%	90.9	59.7%	63.1%	100%	100%	100%
<i>S. laciniata</i>	19.04%	6.45%	3.22%	4.76%	12.9%	8.09%	33.33%	12.9%	12.9%	87.7%	77.4%	64.5%
<i>S. arvensis</i>	0%	47.61%	29.16%	0%	47.61%	29.16%	32%	66.66%	45.83%	32%	71.4%	37.5%

Tableau 18: Espèces adventices et variétés de blé par sensibilité vis-à-vis l'HE d'*E. glubulus* (IPG, ILR et ILPA >60%).

Concentrations	0.2µl			0.4µl			0.6µl			0.8µl		
Paramètres	IPG	ILR	ILPA	IPG	ILR	ILPA	IPG	ILR	ILPA	IPG	ILR	ILPA
<i>S. marianum</i>	90.9%	83.6%	84.2%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>D. tenuifolia</i>	86.8%	89.1%	87.5%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>S. laciniata</i>	80.9%	74.1%	72.6%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>A. visnaga</i>	85.2%	52.5%	52%	92%	82.5%	86%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
waha	68.9%	61.4%	64.4%	96.5%	95.7%	95.4%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>H. murinum</i>	65.4%	48.21%	35%	96.1%	92.8%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>A. fatua</i>	64%	46.36%	38.48%	99.1%	85.4%	81.5%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>M. salmentica</i>	20%	92.8%	80.8%	91.6%	97.6%	93.6%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Mbb	43.33%	66.6%	47.14%	66.6%	82.6%	65.1%	90%	97.3%	93.8%	100%	100%	100%
<i>S. arvensis</i>	4%	66.6%	41.66%	56%	85.7%	75%	70%	76.2%	70.8%	95.2%	95.2%	83.3%
<i>B. madritensis</i>	50%	23.33%	46.66%	94%	90%	88.3%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

5. Discussion

À cette étape, nous allons discuter les résultats obtenus pour les effets des huiles essentielles d'*A. Herba-alba* Asso. et *E. globulus* Labill. sur la germination des graines et la croissance des plantules des adventices et variétés de blé dur étudiées, qui sont présentés dans la deuxième, la troisième et la quatrième partie de ce chapitre.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que les huiles essentielles des deux espèces : *Artemisia herba-alba* et *Eucalyptus globulus* affectent de différentes façons la germination et la croissance des plantules des espèces adventices et les variétés de blé dur testées. L'essentiel des recherches en allélopathie a concerné les effets visibles des composés allélopathiques sur la germination et la croissance (Chiapusio et al., 2008). Des tests de germination, des mesures de biomasse ou de la taille des organes sont les méthodes prédominantes employées (Haugland et Brandsaeter, 1996).

Nous avons remarqué que la germination des graines est retardée ou elle s'achève dans un stade avancée (début de l'apparition de la radicule) ou elle ne se produit pas. Chez certaines graines, la germination s'arrête dans le stade gonflement de la graine. Nous avons également noté l'éclatement de certaines graines (gonflement de la graine, déchirure du tégument et enfin la libération des réserves sous forme liquide). D'après Lovett et al. (1989) et An et al. (1997), la germination et /ou la croissance de jeunes plantules sont des stades physiologiques correspondants à des phases particulièrement sensibles aux effets allélopathiques. Les effets facilement visibles des allélochimiques sur la croissance et le développement des plantes comprennent des taux de germination faibles, graines noircies et gonflées (Bhadoria, 2011).

Dans le cas de germination des graines, le développement des plantules se manifeste par l'inhibition chez certaines et par la stimulation chez d'autres ou par l'arrêt total de la croissance. Ces effets sont enregistrés sur la partie racinaire (radicule et coléorhize), sur la partie aérienne (tigelle et coléoptile) ou sur les deux parties ensemble. Kunz et al. (2016), ont prouvés que les effets biochimiques inhibiteurs de la germination et la longueur racinaire dans plusieurs espèces végétales, jouent un rôle important dans la suppression des adventices des cultures. Dans la majorité des tests que nous avons réalisés, l'effet inhibiteur des huiles essentielles est très important sur le développement des plantules (longueur de la racine et longueur de la partie aérienne).

Dans la majorité des tests que nous avons réalisés, les huiles essentielles étudiées inhibent significativement la germination et le développement des plantules. En revanche, la réponse de quelques espèces (adventices ou variétés de blé) à l'effet des huiles est différente, il s'agit de la stimulation. Nous avons remarqué que le pourcentage de germination augmente, la longueur de la racine et/ou de la partie aérienne accroît. C'est, selon Rice (1984), les effets positifs ou négatifs d'une plante sur une autre par le biais de ses composés chimiques.

Les différents effets des huiles essentielles sur la germination des graines et le développement des plantules, peuvent être expliqués par la nature physico-chimique de l'espèce allélopathique et la quantité de l'huile (concentration) qui probablement mettent en jeu des substances allélochimiques spécifiques (composition chimique de l'huile). Plusieurs auteurs ont montré que les effets allélopathiques sont liés aux qualités et quantités des substances allélochimiques produites par les végétaux (De Raissac, 1998; Arantini et al., 2011; Lefebvre et al., 2012; Benhaj Jilani et al., 2014; Pinto et al., 2018; Scavo et al., 2018; Grulová et al., 2019; Sarić-Krsmanović et al., 2019; Sumalan et al., 2019).

Pour chaque espèce allélopathique *A. herba-alba* et *E. globulus*, l'inhibition augmente lorsque la concentration de l'huile augmente, cette augmentation n'est pas comparativement similaire pour les deux espèces. Selon Eveno et Chabanne (2009), ces résultats illustrent bien le caractère sélectif du phénomène d'allélopathie. Ben Haj Jilani et al. (2014), Atak et al. (2015), Moussaoui et al. (2017), Pinto et al. (2018), Sarić-Krsmanović et al. (2019) et Sumalan et al. (2019) ont montré que l'inhibition de la germination des graines et le développement des adventices augmentent avec l'augmentation de la concentration des huiles essentielles utilisées comme herbicides biologiques.

Parmi les adventices que nous avons étudiés, le Fenouil annuel (*Ammi visnaga Lamk*). Une des espèces où la germination et la croissance des plantules sont inhibées dans la majorité des tests que nous avons effectués avec les deux espèces allélopathiques. Azim Khan et al. (2011), ont pu démontrer que la germination et le développement de cette espèce sont totalement inhibés par les extraits aqueux de *Poa annua* L., *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv, *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Datura alba* L. et *Phragmites australis* (CAV.) Trin. La majorité des travaux s'intéressent au

potentiel allélopathique d'*Ammi visnaga* sur les différentes cultures, ce qui explique le peu d'études qui traitent la lutte biologique contre cette espèce. Selon Khan et al. (2012), la germination des graines des légumineuses (Soja, Pois chiche et Haricot) est fortement inhibée par les extraits aqueux d'*Ammi visnaga*. Ishfaq Khan et al. (2016), ont montré que cette espèce a un fort potentiel pour inhiber la germination des graines de blé, en particulier les biotypes de blé des zones plus froides. Également, la germination des graines de l'alpiste de canaries (*Phalaris canariensis* L.) est totalement inhibée par l'extrait aqueux d'*Ammi visnaga* (About et al., 2019). Cette auto toxicité d'*Ammi visnaga* peut être utilisée comme un herbicide pour la gestion des adventices, chose qui permet d'apporter à l'agriculture un grand succès.

Pour la folle avoine (*Avena fatua* L.), l'inhibition de la germination et de la croissance des plantules de cette espèce sont très élevées avec l'huile essentielle d'*E. globulus*, alors que la germination est stimulée par l'huile d'*A. herba-alba*. Selon Moradshahi et al. (2003), l'extrait aqueux d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehneh. a le potentiel d'inhiber la croissance d'*A. fatua*. Turck et Tawaha (2003), ont prouvé que la moutarde noire (*Brassica nigra* L.) contient des substances solubles dans l'eau qui inhibent la germination et la croissance des semis d'*Avena fatua*. Les résultats obtenus par Sodaeizadeh et Van damme (2009) et Benmedour (2010), montrent que l'extrait aqueux de *Peganum harmala* L. a de fort effet inhibiteur sur la germination et la croissance d'*A. fatua*. Shafique et al. (2011) ont montré que les extraits aqueux de *Chenopodium album* L. inhibent fortement la germination et la croissance racinaire d'*A. fatua*. Afridi et Khan (2015), ont montré que l'inhibition de la germination d'*A. fatua* par les extraits aqueux à la concentration 15%, varie suivant les espèces allélopathiques (*Oryza sativa* L. 25.86%, *Phragmites australis* Adans 44.83%, *Parthenium* L. 56.89% et *Datura alba* L. 51.72%). D'après les résultats obtenus par Ali Salim et al. (2017) la suppression de l'adventice de blé (*Avena fatua* L.) par l'extrait aqueux d'*Eucalyptus oblige* est conseillée. L'efficacité a inhibé la germination et la croissance des plantules d'*A. fatua* par l'extrait aqueux et la poudre des feuilles d'*Euphorbia helioscopia* L. suggère que, ces dernières ont le potentiel d'agir comme une source d'allélochimiques inhibiteurs (Anwar et al. 2017). Tilaki et al. (2013), montrent que l'huile essentielle de l'armoise blanche stimule la germination des graines de *Médicago sativa* L. et *Onobrychis sativa* Lam. à de basses concentrations.

Le brome de Madrid (*Bromus madritensis* L.), une des adventices problématiques des céréales en Algérie. Nos résultats ont montrés que les deux espèces allélopathiques *A. herba-alba* et *E. globulus* possèdent un effet inhibiteur élevé sur la germination et le développement de cette adventice. Ces résultats sont conformes à ceux obtenue par Benmedour (2010) avec l'extrait aqueux *Peganum harmala*. Selon Linhart et al. (2015), les deux chémotypes Géraniol et Thymol de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* inhibent respectivement la germination et la croissance du *Bromus madritensis*. D'autres espèces du genre *Bromus* ont données des résultats intéressants, dont les huiles essentielles de *Bunium persicum* (Boiss.) B. Fedtsch et *Cuminum cyminum* L. inhibent fortement la germination de *Bromus tectorum* (Majid et al., 2006). Ainsi, les farines des graines des *Limnanthes alba* Hartw., *Vigna sesquipedalis* (L.) Fruw., *Picea pungens* Engelm et *Pinus spp.* inhibent totalement la germination des graines de *Bromus tectorum* (Machado, 2007). Les résultats obtenus par Tilaki et al. (2013), montrent que l'armoïse blanche présente une activité allélopathique avec une concentration accrue en huile essentielle sur l'inhibition de la germination et la croissance des plantules de *Bromus tomentellus* Boiss.

Pour les deux espèces adventices envahissantes *Hordeum murinum* et *Sinapis arvensis*, nos résultats ont montrés que l'inhibition de la germination et de la croissance des plantules sont très élevées dans la majorité des tests que nous avons effectués. Benmedour (2010), montre que l'extrait aqueux de *Peganum harmala* L. inhibe fortement la germination et la croissance des plantules d' *Hordeum murinum*. Selon Musavi et al. (2018), l'extrait aqueux des feuilles de Safran à la concentration 2.5% affectent négativement la germination et la croissance d'*Hordeum murinum*. Ghorbanli et al. (2011), démontrent que la germination des graines, la longueur et la biomasse plantules de *Sinapis arvensis* L. sont diminuées progressivement avec l'augmentation de la concentration des extraits aqueux des parties aériennes de trois espèces de genre *Glaucium* Mill (*Glaucium oxylobum*, *Glaucium elegans* et *Glaucium grandiflorum*). Les résultats obtenus par Benhadj jilani (2014), montrent que l'huile essentielle d'armoïse blanche inhibe fortement la germination des graines de *Sinapis arvensis*. Atak et al. (2015), ont prouvés que les huiles essentielles d'*Origanum onites* L. et de *Rosmarinus officinalis* L. pourraient être utilisées comme bio-herbicide pour lutter contre le *Sinapis arvensis*. Les extraits aqueux et éthanoliques des feuilles d'*Eucalyptus erythrocorys* L. inhibent fortement la germination des graines et le développement de *Sinapis arvensis*

(Ben Ghnaya et *al.*, 2015). Les extraits de feuilles, fleurs et graines de *Moringa oleifera* Lamk inhibent la germination des graines, la pousse et la croissance des racines des plants de *Sinapis arvensis* (Tahir et *al.*, 2018).

Pour les trois adventices *Diplotaxis tenuifolia*, *Mantiscalca salmentica* et *Scorzonera laciniata*, les taux d'inhibition de la germination des graines et la croissance de plantules que nous avons obtenus par l'HE d'*E. globulus* sont très élevés, alors qu'ils sont variables avec l'HE d'*A. herba-alba*. Malgré que ces espèces sont considérées comme adventices, aucun travail correspond à notre aspect d'étude n'a été rapporté par la littérature pour ces espèces. Cela est expliqué par l'importance de ces dernières dans plusieurs utilisations; l'alimentation humaine, pâturage, apiculture, phytothérapie, aménagement des paysages et en cosmétique (Acar et *al.*, 2015).

Selon Ceccanti et *al.* (2018), certaines espèces sauvages "négligées", parfois considérées comme des mauvaises herbes dans les grandes cultures peuvent potentiellement devenir de nouvelles fonctionnelles cultures. C'est le cas de *Diplotaxis tenuifolia* qui est une plante sauvage comestible dans le bassin méditerranéen. Récoltée traditionnellement comme herbe spontanée, elle est aujourd'hui une espèce de culture d'importance (Caruso et *al.*, 2018). La roquette sauvage a une longue histoire d'utilisation médicinale antiphlogistique, astringent, dépuratif, diurétique, digestif, émollient, tonique, stimulant, laxatif et rubéfiant (Durazzo et *al.*, 2013). Cette espèce représente une source précieuse d'avantages pour la santé en raison de la présence d'une gamme de produits phytochimiques favorables à la santé y compris les caroténoïdes, la vitamine C, fibres, polyphénols et glucosinolates. Ces composés sont potentiellement liés dans la prévention de certaines maladies de types cancer (Tripodi et *al.*, 2017; Guijarro-Real et *al.*, 2019).

Mantiscalca salmentica est une espèce utilisée comme remède pour guérir ou prévenir les maladies (Diego Peral et *al.*, 2007). Selon Bousaada et *al.* (2009), l'huile essentielle de *Mantiscalca duriaei* Briq. et Cavill présente une activité antibactérienne intéressante. *Scorzonera laciniata* est une plante médicinale à un effet anti inflammatoire grâce à sa composition phytochimique (acide chlorogénique de rutine, d'hyperoside et de lutéoline-7- glycoside) (Akkol et *al.*, 2012; Ipek et *al.*, 2012).

Les résultats que nous avons obtenus pour le chardon marie (*Silybum marianum*), indiquent que l'inhibition de la germination et de la croissance des plantules sont très importantes dans la majorité des tests que nous avons effectués pour les deux espèces allélopathiques. Ce qui concorde avec les résultats obtenus par Benmedour (2010), où les extraits aqueux des feuilles de *Piganum harmala* L. et *Nerium oleander* L. à raison de 5% inhibent la germination des graines et la croissance des plantules de *Silybum marianum*. Seyyednejad et al. (2010) et Ul Subtain et al. (2014) ont montrés que l'extrait aqueux de coque de riz (*Oryza sativa* L.) a un effet inhibiteur sur la germination des graines de *Silybum marianum*, mais un effet stimulant sur la longueur de la tige. Selon El Ayeb-Zakhama et Harzallah-Skhiri (2015), les extraits organiques (par les solvants hexane, acétate d'éthyle et méthanol) à partir des différentes parties (racines, tiges, feuilles et fleurs) de *Citharexylum spinosum* L. inhibent la germination et la croissance de *Silybum marianum*. Egalement les extraits aqueux des feuilles et des racines de *Glycyrrhiza glabra* L. inhibent fortement la germination des graines et la croissance des plantules de *Silybum marianum* (Mustafa et al., 2018). Les résultats obtenus par Wasan et al. (2018), montrent que les résidus de culture de blé dans un sol à raison de 5% (P/P) inhibent la germination des graines et la longueur des pousses et de *Silybum marianum* de l'ordre de 36.05%, 24.50% respectivement. Selon Gul et al. (2019), les extraits aqueux des feuilles des espèces aquatiques *Nelumbo nucifera* Gaertn. et *Sagittaria sagittifolia* (Brummit et Powell) L. à raison 10% de concentration inhibent la germination des graines de *Silybum marianum* de l'ordre de 13.3% et 16.7% respectivement, alors qu'ils stimulent la longueur et le poids racinaires. Inayat et al. (2019), montent que les extraits aqueux des feuilles *Populus nigra* L. réduisent la germination des graines et la croissance des plantules de *Silybum marianum* avec l'augmentation de la concentration des extraits. Enfin, Ben Kaab (2020) montre que l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* L. inhibe fortement la germination des graines et la croissance des plantules de *silybum marianum*.

Nous avons testés aussi deux variétés de blé (Mbb et Waha) afin de vérifier si les plantes allélopathiques affectent également les cultures de blé ou non. D'après les résultats obtenus, l'huile d'*E. globulus* possède un effet inhibiteur très élevé sur la germination et la croissance des plantules des deux variétés de blé, par rapport à l'huile d'*A. herba-alba*. Ces résultats concordent avec ceux de Benhajdjani et al. (2014) qui prouvent que l'huile essentielle d'*A herba-alba* réduit la germination des graines de blé

dur (variété Om rabii) avec un faible taux d'inhibition (< 34%). Selon Ben Ghnaya et al. (2015), les extraits éthanoliques des feuilles d'*Eucalyptus erythrocorys* L. ont induit une inhibition significative sur la germination des graines de blé dur. Les résultats obtenus par Elaloui et al. (2015) montrent que l'extrait aqueux de *Ziziphus spina-christi* a un potentiel inhibiteur élevé sur la germination, et la croissance des racines et des plumules des semis de *Triticum durum* Desf. Liu et al. (2016), montrent que cinq composés (acide syringique, tricine, acacétine, syringoside et diométine) isolés des parties aériennes d'*Avena fatua* L. ont un effet inhibiteur sur le blé frais ainsi que sur la croissance des pousses et des racines d'environ 50%. L'augmentation de la concentration de l'extrait aqueux de *Silene villosa* Forssk, a un effet inhibiteur certain sur le pourcentage de germination, la longueur de racines et de pousses de blé (Waheed Murad et al., 2016). Selon les résultats de Hachani et al. (2018), la germination et la longueur des pousses de *Triticum durum* Desf. diminuent à mesure que la concentration des extraits aqueux des feuilles, racines et litière des deux arbres *Casuarina glauca* Sieb. ex Spreng. et *Populus nigra* L. augmente. Melakhessou et al. (2018), montrent que les extraits aqueux de *Cynodon dactylon* L. inhibent la germination, les longueurs moyennes de la racine et de la coléoptile ainsi que la production de matière sèche de trois variétés de blé dur (Mbb, Gta Dur et Vitron) dès la concentration la plus faible (10g/l) et le taux de réduction augmente avec l'augmentation de la concentration des extraits (20g/l, 30g/l et 40 g/l).

L'inhibition de la germination et la croissance des plantules de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), se comporte comme celui de blé dur. Machdo (2007), prouve que les extraits aqueux de *Limnanthes alba* Hartw. et de *Raphanus sativus* L. inhibent fortement la germination, la croissance des racines et des pousses de *Triticum aestivum* L. Selon Corbu et Cachita-Cosma (2009), l'inhibition de la germination et la croissance des plantules de *Triticum aestivum* L. s'intensifient avec l'augmentation de la concentration de l'extrait aqueux d'*Artemisia absinthium* L. Rajendra et al. (2016), ont montrés que l'extrait aqueux des feuilles de l'arbre *Butea monosperma* L. a des effets inhibiteurs sur la germination des graines et les paramètres de croissance des plantules de *Triticum aestivum* L. Ce qui a été rapporté par Ali Salim et al. (2017), montre que les extraits aqueux d'*Eucalyptus oblige* affectent négativement la longueur des épis et le poids de 1000 grains des semis du blé tendre.

Contrairement à nos résultats, Benmedour (2010) a montré que les extraits aqueux de *Peganum harmala* L., *Nerium oleander* L. et *Ailanthus altissima* (Mill.) Swing. n'affectent pas la germination des graines de blé dur (variétés Bousselem et waha), mais l'effet inhibiteur de ces extraits est enregistré sur la croissance des plantules. Selon Anwar et al. (2017), l'extrait aqueux d'*Euphorbia helioscopia* L. n'affecte pas la croissance des radicules et des plumules des semis de blé tendre.

Les huiles essentielles étudiées montrent un potentiel inhibiteur important, ce potentiel n'est pas comparativement similaire pour les deux espèces allélopathiques. L'HE d'*E. globulus* affecte les neufs adventices étudiées et les deux variétés de blé plus fort que l'HE d'*A. herba-alba*. Cela est expliqué par la composition chimique des huiles et les taux des molécules responsables de ces effets d'une part et la réponse de l'espèce réceptrice d'autre part. Suivant Bouhouel et al. (2019), l'allélopathie est un processus complexe qui dépend de facteurs intrinsèques (espèces donneuses et réceptrices).

La dominance des monoterpènes oxygénés caractérise le profil chimique des huiles essentielles étudiées, ce qui explique le potentiel inhibiteur élevé de ces huiles. Cette hypothèse est confirmée par Abdeljalil et al. (2014), les monoterpènes oxygénés ont une forte activité inhibitrice sur la germination des graines et la croissance des plantules. Selon Ben Haj Jilani et al. (2014), l'abondance des monoterpènes oxygénés explique la puissante activité inhibitrice des huiles essentielles. D'après Pinto et al. (2018), en générale un phytotoxique puissant était associé à une quantité plus élevée de monoterpènes oxygénés. Selon Grulová et al. (2019), les monoterpènes oxygénés sont les plus inhibiteurs que les hydrocarbonés. Sont révélés des agents actifs de telles interférences dans un nombre d'interactions intra et interspécifiques (Linhart et al., 2019).

Dans le profil d'huiles essentielles des espèces d'*Artemisia* le camphre est le plus toxique, suivi du 1,8-cinéole. Ils sont des composés à propriété bio-herbicide (Fdil et al., 2011). Ces huiles contiennent des composés phytotoxiques pour les monocotylédones et les dicotylédones. Surtout à de faibles concentrations certains de ces composés provoquent des hormesis, stimulant plutôt que de réprimer le développement racinaire et la croissance des plantes (Ferreira et Janick, 2004).

Selon Soltys et al. (2013), les huiles essentielles présentes dans le feuillage des eucalyptus (*Eucalyptus sp.*) montrent un potentiel phytotoxique. Cette toxicité est due

aux composantes tel que; 1, 8-cinole, le citronelle, le citronello, l'acétate de citronellyle, le p-cymène, eucamalol, limonène, linalol, α -pinène, γ -terpinène α - terpinol, allocimène et aromadendrène. L'*Eucalyptus globulus* s'est révélé comme un puissant inhibiteur, ce qui concorde avec sa faculté allélopathique (Kouadria et *al.*, 2019).

Malgré qu'on se limite dans notre travail aux observations morphologiques des effets allélopathiques des huiles essentielles étudiées. Il est très bien connu que les propriétés de monoterpènes affectent la germination et la croissance des plantes ce qui peut s'expliquer par la capacité de ces composés à provoquer des changements morphologiques et physiologiques, tels que l'inhibition de la chaîne respiratoire dans les mitochondries isolées et la mitose, altération de l'intégrité de la membrane cellulaire, détérioration de cires cubulaire, augmentation de la transpiration et peroxydation lipidique dommages aux microtubes. La diminution des activités respiratoires causée par les monoterpènes réduit la photosynthèse, perturbant à la fois la croissance et la germination (Zohaib et *al.*, 2016; Moussaoui et *al.*, 2017; Pinto et *al.*, 2018). Le cytochrome est l'un des principaux cibles chimiques attaquées par l'oxy-sesquiterpène, confirmant ainsi le pont peroxyde principal centre réactif des effets toxiques (Salvatore, 2007). Selon Nay et Zhang (2019), des terpènes comme le citral, constituant de l'huile essentielle de citronnelle, ont montré des activités herbicides, agissant comme inhibiteur de la polymérisation des microtubules végétaux.

Conclusion

Conclusion

Le présent travail est axé sur la recherche de substances naturelles qui par leurs effets allélopathiques pourraient être utilisées dans le contrôle des adventices des cultures.

Dans cette étude, nous avons testé, dans les conditions de laboratoire, et à différentes concentrations (0.2 µl, 0.4 µl, 0.6 µl et 0.8 µl) l'effet des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* Asso. et *Eucalyptus globulus* Labill. sur la germination et le développement de neuf espèces adventices (*Ammi visnaga* Lamk, *Avena fatua* L, *Bromus madritensis* L. *Diploaxis tenuifolia* L., *Hordeum murinum* L., *Mantisalca salmentica* (L.) Briq. & Cavill, *Scorzonera laciniata* L., *Silybum marianum* (L.) Gaertn. et *Sinapis arvensis* L.) et deux variétés de blé dur (Waha et Mbb) récoltées dans la région de Sétif.

Ce travail est réalisé sur la partie aérienne du Harmel, de l'Armoise blanche et les feuilles âgées d'Eucalyptus récoltées dans la région de Sétif, a pour but de déterminer la qualité chimique de ses huiles essentielles extraites par hydrodistillation et de mettre en évidence leurs potentiels allélopathiques.

Après l'extraction, l'Harmel a donné des traces de l'huile qui représentent un rendement très faible de l'ordre de 0.01%. Cette espèce a été retirée de ce travail.

L'huile essentielle d'*A. herba-alba* obtenue est de couleur jaune-pâle avec un rendement de 1.19%. Elle comprend 38 composés volatiles, qui sont principalement le Camphre (28.58%), Cis-Thujone (22.03%), Eucalyptol (11.65%) et Trans- Thujone (7.03%). Les monoterpènes oxygénés sont les plus abondants avec 83%.

L'Eucalyptus a donné une huile de couleur jaune-pâle, d'une odeur camphrée et un rendement de 1.95 %. Cette huile comprend 39 composés volatiles, qui sont principalement le Spathulénol (33.59%), le Cryptone (14.27%), Para-Cymène (8.89%) et Terpinène-4-ol (6.48%). Les monoterpènes et sesquiterpènes oxygénés représentent respectivement 40.52% et 35%.

Les résultats obtenus montrent que, les deux huiles essentielles testées inhibent fortement la germination des graines et la croissance des plantules de la majorité des adventices et variétés de blé dur étudiées. Cette inhibition augmente lorsque la concentration de l'huile augmente.

Le potentiel inhibiteur des huiles essentielles étudiées, n'est pas comparativement similaire. L'huile d'*E. globulus* affecte la totalité des adventices et les deux variétés de blé plus fortement que celle d'*A. herba-alba*. En effet, l'huile d'*E. globulus* à la concentration 0.8 µl, inhibe totalement (100%) la germination et la croissance des plantules de toutes les espèces adventices et variétés de blé, exception faite pour *S. arvensis*. Pour la même concentration, l'huile d'*A. herba-alba* inhibe totalement la germination et le développement d'*A. visnaga*, *S. marianum*, *D. tenuifolia* et *M. salentica*. Alors que la germination d'*A. fatua* est stimulée (- 3%) à la concentration 0.8 µl. De plus, il inhibe fortement la variété de blé Waha que celle de Mbb.

L'effet allélopathique démontré dans cette étude pour les huiles essentielles issues d'*A. herba-alba* et d'*E. globulus* est prometteur et les qualifier comme des bio-herbicides qui apporteront un succès dans le domaine agricole. De ce fait, les composés responsables de ces propriétés biologiques pourraient servir de principes actifs dans la formulation industrielle des bio-herbicides.

L'allélopathie a été néfaste pour les deux variétés de blé dans le cadre de notre étude. Il devient important de trouver l'équilibre entre un contrôle adéquat des adventices et la croissance de la culture en place qui ne serait pas mise en risque par l'allélopathie.

Cette étude a testé les effets des huiles essentielles des plantes sur la germination et la croissance des plantules des adventices et le blé dur dans des conditions de laboratoire. D'autres études devraient être menées avec les mêmes espèces en pots et aux champs pour certifier l'effet herbicide de ces plantes.

Ecologiquement, il est possible d'utiliser ces produits pour la gestion non chimique des mauvaises herbes dans les systèmes d'agriculture biologique. En effet, nos résultats permettent d'élargir le champ d'investigation à grande échelle dans des conditions naturelles de terrain afin de donner des informations supplémentaires sur l'interaction des facteurs environnementaux, y compris la volatilisation et la lixiviation des allélochimiques, la sécrétion racinaire, la décomposition microbienne, la transformation chimique et le pouvoir d'adsorption du sol.

Egalement, la découverte de nouveaux modes d'action des allélochimiques est essentielle pour aider à résoudre le problème de résistance des mauvaises herbes aux produits chimiques. Cela peut aider à réduire l'utilisation d'herbicides usuels.

Les plantes aromatiques sont des réservoirs d'huiles essentielles volatils qui sont connues pour être allélopathiques et peuvent être donc utilisées pour le contrôle des mauvaises herbes, mais il est évident que l'allélopathie nécessite des recherches supplémentaires pour une application généralisée dans la production agricole.

Nous espérons que les futurs chercheurs développent nos résultats et d'autres similaires afin d'innover un herbicide naturel pour une utilisation en agriculture, notamment que le marché de ces produits est intéressant.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelgaleil S., Gouda N. & Saad M., 2014. Phytotoxic properties of monoterpenes on *Silybum marianum* (L.) Gaertn. and their inhibitory effect on carbonic anhydrase activity. *Australien journal of Basic and Applied Sciences*; 8 (16): 356-363.
- About M., Bensellam E., Moutiq R., Elyakoubi H. et Rochdi A., 2019. Effet allélopastique de quelques plantes médicinales sur la germination des graines de *Phalaris canariensis* L. et *Lactuca sativa* L. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*; (13): 1-7.
- Acar R., Coşkun B., Özcan M.M., Özcan C., Özköse A. & Koç N., 2015. The importance and agricultural usage of wild Rocket (*Diplotaxis tenuifolia* (L.)DC). 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment (2nd ICSAE) September 30 – October 3, 2015, Konya, Turkey.
- Adams RP., 2007. Identification of essential oils components by Gas Chromatography Mass spectroscopy, Allured Publishing Corporation Carol Stream, Illinois USA.
- Afridi R.A. & Khan M.A., 2015. Comparative Effect of Water Extract of *Parthenium hysterophorus*, *Datura alba*, *Phragmites australis* and *Oryza sativa* on Weeds and Wheat. *Sains Malaysiana*; 44 (5): 693–699.
- Agrichem, 2019. <https://agrichem.dz/fleaux/5/mauvaises-herbes>.
- Akkol E., Acıkar Ö.B., Süntar I., Ergene B. & Çitoğlu G., 2012. Ethnopharmacological evaluation of some *Scorzonera* species: in vivo anti-inflammatory and antinociceptive effects. *Journal of Ethnopharmacology*; 140 (2): 261-270.
- Akrout A., 2004. Etude des huiles essentielles de quelques plantes pastorales de la région de Matmata (Tunisie). *CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes*; (62): 289- 292.
- Akula R. & Ravishankar G.A., 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling and Behavior*; 6 (11):1720-1731.
- Alaoui S.B., 2005. Les Particularités des adventices vivaces et les bases de raisonnement d'une stratégie de lutte intégrée. *Symposium National Sur les Adventices Vivaces*, Mohammadi, Maroc 24 Février; 15p.
- Alhaithloul H.A.S., 2019. Prevalence study of weeds in some economic orchards trees. *Asian Journal of Agriculture and Biology*; 7 (4):512-518.
- Ali Salim H., Abdalbaki A., Ali Khalid H., Eshak H., Beski B. & Alwan W., 2017. Allelopathic effects for three plants extracts on weeds of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Medicinal Herbs and Ethnomedicine*; (3): 31-33.
- Al-Khateeb T.A., Alsaadawi I.S., & Hadwan H.A. 2017. Differentiation of allelopathic potential of sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars using chemical and molecular techniques. *Tunisian Journal of Plant protection*; (12): 1-13.

- Allen J., 2016. Allelopathic interactions in river benthic phototrophic biofilms : a multi-approach study. Thèse Doc. en Ecologie fonctionnelle, Univ. Paul Sabatier - Toulouse III, 191p.
- Al-Wahaibi L., Mahmood A., Khan M. & Alkhathlan H., 2018. Comparative study on the essential oils of *Artemisia judaica* and *A. herba-alba* from Saudi Arabia. Arabian Journal of Chemistry, King Saud University.
- An M., Pratley J.E., & Haig T., 1997. Phytotoxicity of vulpia residues: I. Inverstigation of aqueous extractx. Chem. Ecol.; (23): 1979-1995.
- Anonyme, 2016. Guide de lutte contre les mauvaises herbes. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales. Ontario, Canada. 538P.
- Anonyme, 2014. Contrôler les adventices en grandes cultures biologiques. Rencontres des alter-agro sur les fermes bios de Midi- Pyrénées. France. (Poster)
- Anwar T., Khalid S., Khan Panni M., Qureshi H. & Rashid M., 2017. Allelopathic effect of *Euphorbia helioscopia* on *Avena fatua*, *Rumex dentatus*, *Helianthus annuus*, *Zea mays* and *Triticum aestivum*. Pakitan Journal of Weed Science Research; 23(2): 165-177.
- APG, 2009. The Angiosperm Phylogeny Group, "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III". Botanical Journal of Linnen Society; 161(2): 105-121.
- Apostolico I., Aliberti L., Caputo L., De Feo V., Fratianni F., Nazzaro F., Souza L.F. & Khadhr M., 2016. Chemical Composition, Antibacterial and Phytotoxic Activities of *Peganum harmala* Seed Essential Oils from Five Different Localities in Northern Africa. Molecules; 21(9): 1235.
- Arab R., 2016. Chemical composition and insecticidal activity of *Mentha rotundifolia* L. on *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) from Algeria. Advances in environmental biology, AENEI Journals; (10): 13-16.
- Araniti F., Sorgonà A., Lupini A. & M.R. Abenavoli M.R., 2011. Screening of Mediterranean wild plant species for allelopathic activity and their use as bio-herbicides. Allelopathy Journal; 29 (1): 107-124.
- Arif M., Cheema Z.A., A. Khaliq A. & Hassan A., 2015. Organic Weed Management in Wheat through Allelopathy. International Journal of Agriculture and Biology; (17) 1:127-134.
- Arvalis L.B., 2013. Panics et ambroisie vont remonter vers le Nord. Perspectives Agricoles, n°403.
- Asfaw N. & Demissew S., 2015. Essential oil composition of four *Artemisia* species from Ethiopia. Chemical Society of Ethiopia; 29 (1): 123-128.
- Atak M., Mavi K. & Uremis I., 2015. Bio-herbicidal effects of Oregano and Rosemary essential oils on germination and seedling growth of bread wheat cultivars and weeds. Romanian Biotechnological Letters; (21)1: 11149-11159.
- Audrey V., 2012. L'eucalyptus; présentation et caractéristiques. Grâlon.

- Azim Khan M., Kalsoom U., Ishfaq Khan M., Khan R. & Aslam Khan S., 2011. Screening the allelopathic potential of various weeds. *Pakistan Journal of Weed Science Research*; 17(1): 73-81.
- Bailey K. L., 2014. The Bioherbicide Approach to Weed Control Using Plant Pathogens. *Integrated Pest Management: Current Concepts and Ecological Perspective*; 245-266.
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. & Idaomar M., 2008. Biological effects of essential oils. *Food and Chemical Toxicology*; 46 (2): 446-475.
- Balandrin MF. Klocke JA. Wurtele ES. & Bollinger WH., 1985. Natural plant chemicals: sources of industrial and medicinal materials. *Science*; (228): 1154-1160.
- Bali A. S., Daizy R. B. & Harminder P. S., 2016. Allelopathic effect of aromatic plants: role of volatile essential oils. *Journal of Global Biosciences*; 5(7): 4386-4395.
- Barralis G., 1982. La flore adventice des cultures et son évolution. *Bull. Techn. Info.*: 463-466.
- Barralis G., 1984. Adventices des cultures à 500 millions de semences/ha. *Cultivar, Spécial Désherbage*; (178): 16-19.
- Bechiri S. et Tahar Mezedek S., 2018. Etude de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Artemisia herba alba* de la région d'El Kantara (wilaya de Biskra) et de *Mentha pulegium* de la forêt de Mesra (wilaya de Mostaganem). *Mém. Mas. Univ. Mostaganam*.
- Bekhechi C. et Abdelwahid D., 2014. Les huiles essentielles. Ed.OPU. N° 5145, Algérie. 55P.
- Belaoued A., 2014. Plantes médicinales d'Algérie. Ed.OPU. N° 4267, Algérie. 284P.
- Belhattab R., Amor L., Barroso JG., Pedro LG. & Figueiredo AC., 2012: Essential oil from *Artemisia herba-alba* Asso grown wild in Algeria: Variability assessment and comparison with an updated literature survey. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Bello S., Amadji L.G. et Ahanchédé A., 2019. Efficacité technique et rentabilité économique des méthodes de contrôle culturale et chimique des mauvaises herbes en culture d'oignon (*Allium cepa* L.) au Nord-Est du Bénin. *Journal of Animal and Plant Sciences*; 42 (2): 7207-7225.
- Ben Ghnaya A., Hamrouni L., Amri I., Ahoues H., Hanana M. & Romane A., 2015. Study of allelopathic effects of *Eucalyptus erythrocorys* L. crude extracts against germination and seedling growth of weeds and wheat. *Journal of Natural Product Research*; (30) 18.
- Ben Kaab S., 2020. Etude du potentiel herbicide des extraits végétaux des espèces xero-halophytes Tunisiennes et détermination de leurs modes d'action. Thèse Doc. en Sciences agronomiques et ingénierie biologique, Univ. De Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 181p.

- Benabdallah Z. et Drici H., 2018. Etude de la variation de la composition chimique d'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* cueillie des différentes régions d'Algérie. Mém. Mas. Univ. Khemis Meliana, Algérie. 75p.
- Benarab H., 2008. Contribution à l'étude des mauvaises herbes des vergers dans la région nord de Sétif. Mém. Mag. Agro., UFA. Sétif. 73P.
- Benhadj jilani I., Chebil S., Khiari R., Melkis I., Limmam-Bensaad S., Daoud-Bouattour A. & Gammar-Ghrabi Z., 2014. Allelopathic potential of some essential oils vis-à-vis three noxious weed species invading cereals. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*; 4 (3): 77-97.
- Benhamouda M., Kremer R. J., & Minor H. C., 1995. Phytotoxicity of extracts from sorghum plant components on wheat seedlings. *Crop Sci*; (35): 1652-1656.
- Benmahioul B., Khelil B. , Kaid-Harche M. et Daguin F., 2010. Etude de la germination et de l'effet du substrat sur la croissance de jeunes semis de *Pistacia vera* L. *Acta Botanica Malacitana*: 107 (35); 107-114.
- Benmedour T., 2010. Etude du pouvoir allélopathique de l'Harmel (*Peganum harmala* L.), le laurier rose (*Nerium oleander* L.) et l'ailante (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swing.) sur la germination de quelques mauvaises herbes des céréales. Thèse Mag. Bio. Végé.UFA., Sétif-1-, 89P.
- Bertin C., Yang X. & Weston LA., 2003. The role of roots exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant soil*; (256): 67-83.
- Betrand M. et Doré T., 2008. Comment intégrer la maîtrise de la flore adventice dans le cadre générale d'un système de production intégrée .INRA Paris, France ; 1-13.
- Bezuidenhout S.R., Reinhardt C.F. & Whitwell M.I., 2012. Cover crops of oats, stouling rye and three annual ryegrass cultivars influence maize and *Cyperus esculentus* growth. *Weed Research*; (52): 153-160.
- Bezza L., Mannarino A., Fattarsi K., Mikail C., Abou L., Hadji-Minaglou F. & Kaloustian J., 2010. Chemical composition of the essential oil of *Artemisia herba-alba* issued from the district of Biskra (Algeria). *Phytothérapie*; (8): 277-281.
- Bhadoria P.B. S., 2011. Allelopathy: a natural way towards weed management. *American Journal of Experimental Agriculture*; 1 (1): 7-20.
- Biao F., Afouda L. et Koné D., 2018. Effet des extraits aqueux à base d'ail (*Allium sativum*), de neem (*Azadirachta indica*), d'hyptis (*Hyptis spp.*) et d'huile d'arachide sur les pucerons, vecteurs du virus de la panachure du piment vert (*Capsicum chinense*) au Nord-Bénin. *Journal of Animal and Plant Sciences*; 38 (3): 6336-6348.
- Bouhouel I., Gfeller A., Boudabous Kh., Fauconnier M.L., Slama Ayed O., Slim Amara H. & Du Jardin P., 2019. Effects of physico-chemical and biological properties of soil on the allelopathic activity of barley (*Hordeum vulgare* L. subsp. *vulgare*) root exudates against *Bromus diandrus* Roth. and *Stelleria media* L. weeds. *Allelopathy journal*.

- Boukhatem M.N., Ferhat M.A., Kemeli A. et Mekarnia M., 2019. *Eucalyptus globulus* labill: un arbre à essence aux mille vertus. *Phytothérapie*; 1(16): 203-214.
- Boullard B., 1997. *Plantes et champignons: dictionnaire*. 2^{ème} édition. Estem, Paris. p. 24.
- Bourmita Y., Belboukhari N., Cheriti A. et Ould El Hadj MD., 2013. Recherche préliminaire des sources végétales sahariennes à alcaloïdes pour usage bio-insecticides. *Algerian Journal of Arid Environment*; 3(1): 98-102.
- Boussaada O., Ammar S., Mahjoub M., Saidana D., Chriaa J., Chraif I., Daami M., Helal A.N., & Mighri Z., 2009. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Volatile Components from Capitula, Stems-Leaves and Aerial Parts of *Mantisalca duriaei* Briq. et Cavill Growing Wild in Tunisia. *Journal of Essential Oil Research*; (21): 1997-184.
- Boutabia L., Tellailia S., Bouguetof I., Guenadil F. et Chefrou A., 2016. Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. de la région de Hammamet (Tébessa-Algérie). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*; (85): 174-189.
- Boutin S., 2013. Développement de nouvelles stratégies de prévention et de résistance aux infections opportunistes chez l’Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). Thèse de Doc. en Biologie, Univ. Laval Québec. 177p.
- Bouzidi N., 2016. Etude des activités biologiques de l’huile essentielle de l’armoise blanche « *Artemisia herba alba* Asso ». Thèse Doc.Univ. Mascara, 462p.
- Brunel S. & Tison J., 2005. Study on invasive plants in the Mediterranean Basin- Rencontre environnement; (59):49-5.
- Capillon, 2006. Agriculture durable: faut-il repenser les systèmes de culture? Rapport de Dossier. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Montpellier: 57-87.
- Cardina J., Johnson G. & Sparrow D., 1997. The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Science*; 45 (3): 364-373.
- Caruso G., Parrella G., Massimo Giorgini M. & Nicoletti R., 2018. Crop Systems, Quality and Protection of *Diploaxis tenuifolia*. *Agriculture*; 8 (4): 55.
- Caussanel J.P., 1989. Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie, EDP Sciences*; 9 (3): 219-240.
- Ceccanti C., Landi M., Benvenuti S., Pardossi A. & Guidi L., 2018. Mediterranean wild edible plants: weeds or “new functional crops”?. *Molecules*; (23): 2299.
- Chalchat J.C., Chabard J.L., Gorunovic M.S., Djermanovic V. & Bulatovic V., 2011. Chemical Composition of *Eucalyptus globulus* Oils from the Montenegro Coast and East Coast of Spain. *Journal of Essential Oil Research*; 7 (2).

- Cheng A.X., Lou Y.G., Mao Y.B., Lu S., Wang L.J. & Chen X.A., 2007. Plant terpenoids: biosynthesis and ecological functions. *Journal of Integrative Plant Biology*; 49 (2): 179–186.
- Chiapusio G., Gallet C., Dobremez J.F., et Pellissier F., 2008. Les composées allélopathiques: des molécules phytochimiques pour demain? (Bio-pesticides d'origine végétales). Ed. Tec Doc, 51-64p.
- Chung I. M., Kim K. H., Ahn J. K., Lee S. B., Kim S. H. & Hahn S. J., 2003. Allelopathy: Comparison of Allelopathic Potential of Rice Leaves, Straw and Hull Extracts on Barnyardgrass. *Agronomy Journal*; (95):1063-1070.
- CIRAD, 2001. Malherbologie tropicale.
- CIRAD, 2003. Inhibition de la germination et de la croissance chez les semences des végétaux.
- Clevenger J.F., 1928. Apparatus for determination of volatile oil. *American Pharmaceutical Association*; 345-349.
- Colbach N., Colas F., Gibot-Leclerc S., Granger S., Guyot S., Meziere D., Pointurier O., Queyrel W., Voisin A.S. et Bockstaller C., 2016. Analyse et modélisation des effets des pratiques agricoles sur les services et disservices écosystémiques dépendant des adventices. Application à l'évaluation et la conception de systèmes de culture économes en herbicides. Rapport de recherche Agrosup, Univ. Bourgogne Franche Comté, Dijon. France, 37p.
- Corbu S. & Cachita-Cosma D., 2009. Study on allelopathic action of the watery extract of *Artemisia absinthium* L. upon the germination of the caryopses and the growth of the plantlets of *Triticum aestivum* L., *Lolium perene* L. and of *Bromus inermis* L. *Study Universities "Vasile Goldiş"*;19 (2): 295-301.
- Corcuera L.J., 1993. Biochemical basis for the resistance of barley to aphids. *Phytochemistry*; (33): 741-747.
- Cordeau S., Dessaint F., Denieul C., Bonin L., Vuillemin F, Delattre M., M., Rodriguz A., Guillemain J-P., et B. Chauvel B., 2016 a, La nuisibilité direct des adventices en grandes cultures: quelles réponses nous apportent les essais désherbage? Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon.
- Cordeau S., Triolet M., Wayman S., Steinberg C. & Guillemain J.P., 2016 b. Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. *Crop Protection*; (87): 44-49.
- Croteau R., Kutchan T.M. & Lewis N.G., 2000. Natural Products (SecondaryMetabolites). *American Society of Plant Physiologists*; chapter 24: 1250 1318.
- Czarnota M. A., Pail R. N., Dayan F. E., Nimbal C. I. & Weston L. A., 2001. Mode of action, localization of production, chemical nature and activity of sorgoleone: a patent PSII inhibitor in *Sorghum spp.* root exudates. *Weed Technology*; (15): 813-825.

- Dagne E., Bisrat D., Alemayahu M. & Worku T., 2011. Essential oils of twelve *Eucalyptus* species of Ethiopia. *Journal of Essential Oil Research*; 12 (4).
- Dayan F. E., Cantrell C. L. & Duke S. O., 2009. Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*; 17 (12): 4022-4034.
- Dayan F.E., Rimando A.E., Pan Z., Baerson S.R., Gimsing A.L. & Duke S.O., 2010. Sorgoleone. *Phytochemistry*; (71): 1032–1039.
- De Albuquerque M.B., Dos Santos C.R., Lima L.M., Melo Filho PA., Nogueira R.J.M.C., Da Camara C.A.G., & Ramos R.A., 2011. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agron. Sustain.*; (31):379–395.
- De Martino L., Mancini E., De Almeida L.F.R. & De Feo V., 2010. The Antigerminative Activity of Twenty-Seven Monoterpenes. *Molecules*; (15): 6630-6637.
- De Raissac M., Marnotte P. et Alphonse S., 1998. Interactions entre plantes de couverture, mauvaises herbes et cultures: quelle est l'importance de l'allélopathie? *Agriculture et developpement*; (17); 40-49.
- De Tourdonnet S., Shili I. et Scopel E., 2008. Utilisation des mulchs vivants pour la maîtrise des flores adventices. *Innovations Agronomique*; (3): 43-48.
- Delabays N., 2006. L'allélopathie et son utilisation en agriculture biologique. Journée Techniques Fruits & Légumes et Viticulture Biologiques, Beaune, les 6 et 7 décembre.
- Delabays N., Wirth J., Bohren C., Mermillod G. et De Joffrey J.P., 2009. L'allélopathie: un phénomène controversé, mais prometteur. *Revue Suisse Agric.*; 41 (6): 313-319.
- Delaveau, P. 2001. *Vademecum du vocabulaire de la santé*. Elsevier Masson, Paris.17p.
- Derouet M., 2012. Aseptisation des graines dans la Javel. Forum de Cactus Francophone, tout l'univers des plantes grasses et succulentes.
- Dessaint F., Chadoeuf R. et Barralis G., 2001. Diversité des communautés de mauvaises herbes des cultures annuelles de Côte-d'Or (France). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*; 5 (2): 91-98.
- Dhima K.V., Vasilakoglou I.B., Eleftherohorinos I.G. & Lithourgidis A. S., 2006. Allelopathic potential of winter cereal cover crop mulches on grass weed suppression and sugarbeet development. *Crop Science*; (46): 1682-1691.
- Diallou M.D., Guisse A., Sall S.N., Dick R.P., Assigbetse K.B., Dieng A.L. & ChotteJ.-L., 2015. Influence of tropical leaf litter on nitrogen mineralization and community structure of ammonia-oxidizing bacteria. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*; 19 (2): 173-183.
- Diego Peral R., VallejoM. y Vazques P., 2007. Contribución al conocimiento de nombres veráculos de plantas medicinales en la comarca de Zafra-Río Bodinón. *Revista de Estudios Extremeños*; 343-352.

- Djabran K., Mahajan G., Sardana V. & Chauhan B.S., 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*; (72): 57-65.
- Djabran K., 2017 a. Sorghum allélopathie for weed control. Manipulation of allelopathic crops for weed control: 65-75.
- Djabran K., 2017 b. Maize allelopathy for weed control. Manipulation of allelopathic crops for weed control: 29-34.
- Djenane D., Lefsih K., Yangüela J. et Roncalés P., 2011. Composition chimique et activité anti-*Salmonella enteritidis* CECT 4300 des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*, de *Lavandula angustifolia* et de *Satureja hortensis* Tests in vitro et efficacité sur les œufs entiers liquides conservés à 7 ± 1 °C. *Phytothérapie*; 9 (6): 343-353.
- Duhoux A., 2011. Caractérisation de la résistance non liée à la cible aux herbicides inhibiteurs de l'ACCase et de l'ALS chez le vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides*). Sciences de l'environnement.
- Duke S.O., 2015. Proving allelopathy in crop-weed interactions. *Weed Science*; (63): 121-132.
- Durazzo A., Elena Azzini E., Maria Claudia Lazzè M.C., Anna Raguzzini A., Pizzala R. & Giuseppe Maiani G., 2013. Italian wild rocket [*Diploaxis Tenuifolia* (L.) DC.]: influence of agricultural practices on antioxidant molecules and on cytotoxicity and antiproliferative effects. *Agriculture*; (3): 285-298.
- El Ayeb-Zakhama A. & Harzallah-Skhiri F., 2015. Allelopathic activity of extracts of *Citharexylum spinosum* L. from Tunisia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*; 8(10): 189-196.
- El idrissi M., Elhourri M., Amechrouq A. et Zouhair R., 2014. Activité phytotoxique des huiles essentielles de *Chenopodium ambrosioides* L. (Chenopodiaceae) et de *Daucus carota* (L.) ssp *carota* (Lamniaceae) sur la germination et la croissance des racines des graines de *Lepodium sativum*. Science Lib Editions Mersenne ; (6): N ° 140608.
- Elaloui M., Soltani I., Laamouri A., Ennajah A. & Houcine S., 2015. Allelopathic activity of extracts from leaves of *Ziziphus spina-christi* collected in five Tunisian ecotypes. *International Journal of Innovation and Scientific Research*; 20 (2): 333-342.
- El-Beltagi H.S., Salama Z.A. & El-Hariri D.M., 2007. Evaluation of fatty acids and the content of some secondary metabolites in seeds of different flax cultivars (*Lilnum usitatissimum* L.). *Gen. Appl. Plant Physiology*; 33 (3-4): 187-202.
- El-Tahan M., 2019. Votre guide complet sur l'effet des mauvaises herbes sur les plantes et les méthodes de contrôle. *Maglthk*, Encyclopédie complète version électronique. (Article en arabe).
- Eveno M. E. et Chabanne A., 2009. Les effets allélopathiques de l'avoine (*Avena Sativa*) sur les différentes mauvaises herbes et plantes cultivées. *Vivre la vigne en bio*; 16-24p.

- Farooq M., Djabran K., Cheema Z.A., wahid A. & Siddique K.HM., 2011. The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*; 5 (67): 493-506.
- Faudil-chérif Y., Baalioumar A. et Meklati B.Y., 1993. Etude comparative des huiles essentielles Algériennes de feuilles d'*Eucalyptus globulus* Labill. et *Camaldulensis*. *Sezione Scientifica*; 10.
- Fazal H., Ahmad N. & Ajab Khan M., 2011. Physico-Chemical, Phytochemical evaluation and DPPH-scavenging antioxidant potential in medicinal plants used for herbal formulation in Pakistan. *Medicinal Plants: Conservation & Sustainable use*; (43): 63-67.
- Fdil R., Lmachraa I., Fdil N., Ezoubeiri A. et Gadhi C.A., 2011. Huile essentielle des parties aériennes de *Santolina africana*. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*; 150 (1-4): 47-60.
- Fenni M., 1991. Contribution à l'étude des groupements méssicoles des hautes plaines sétifiennes. Thèse Mag. Biol. Végé., Sétif, 185P.
- Fenni M., 2003. Etude des mauvaises herbes des hautes plaines constantinoises; écologie, dynamique, phénologie et biologie. Thèse Doc. Sci., UFA Sétif, 165P.
- Ferguson J. J. et Rathinasabath I., 2003. Allelopathy: how plants suppress other plants. Cours D'université de Floride.
- Ferreira J.F.S. et Janick J., 2004. Allelopathic plants. XVI. *Artemisia* species. *Allelopathy Journal*; 14 (2): 167-176.
- Fillatre J., 2011. Produits phytosanitaires : Développement d'une méthode d'analyse multi-résidus dans les huiles essentielles par couplage de la chromatographie liquide avec la spectrométrie de masse en mode tandem. Thèse Doc. en Chimie Analytique. Univ. d'Angers. 266p.
- Freid G., Chauvel B. et Reboud X., 2008. Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovation Agronomique*, 26p.
- Freschet G.T., Violle C., Roumet C. et Garnier E., 2018. Interactions entre le sol et la végétation: structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol. Ed. ISTE, London; 83-99 p.
- Friedman J., 1995. Allelopathy, Autotoxicity, and germination In seed development and germination CRC press, Florida. 629-643p.
- Friry J., 2013. Analyse de l'effet de l'environnement, du précédent et des pratiques culturales, sur la composition des communautés d'adventices des bananeraies de Guadeloupe. Mém. Master. 2 Biodiversité Végétale Tropicale, Univ. Montpellier 2 Sciences et Techniques, 27p.
- Furet A. et Bellenot D., 2013. Les huiles essentielles dans la protection des cultures. Ed. iteipmai, France. 8P.

- Gama A., Yann D. et Henri F., 2006. Utilisation des herbicides en forêt et gestion durable, Guide pratique. Editions Quae, Paris.17p.
- Gattás Hallak A. M., Davide L. C. I. & Souza F., 1999. Effects of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) root exudates on the cell cycle of the bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) root. *Genetics and Molecular Biology*; (22): 95-99.
- Gavinet J., 2016. Installation d'espèces feuillues en forêt de pin d'Alep : interactions avec les strates arborées et arbustives. Sciences de l'environnement. Thèse Doc. en Science de l'environnement, Univ. de Aix Marseille, 216 p.
- Gavinet J., Prévosto B., Bousquet-Melou A., Gros R., Quer E. Blady V. & Fernandez C. 2018. Do litter-mediated plant soil feedbacks influence Mediterranean oak regeneration? A two-year pot experiment. *Plant and soil*; (430): 59-71.
- Gazoyer M., Aubinau M., Bougler J., Ney B. et Roger-estrade J., 2002. La rousse agricole. Ed. La Rousse, Canada, 23p.
- Georgieva N. Kertikov T. & Ilieva A. 2008. Allelopathic effect of extracts from winter vetch *V. villosa* Roth./ on germination and initial development of rye, wheat and oat seeds. *Agricultural Science*; 41(3): 14-20.
- Gfeller A. et Wirth J., 2017. Les Cultures intermédiaires allélopathiques: un moyen de lutte contre les adventices ?. *Innovations Agronomiques*; (62): 33-41.
- Ghanmi M., Satrani B., Aafi A., Isamili MR., Houti H., El Monfalouti H., Benchakroun KH., Aberchane M., Harki L., Boukir A., Chaouch A. et Charrouf Z., 2010. Effet de la date de récolte sur le rendement, la composition chimique et la bioactivité des huiles essentielles de l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) de la région de Guerçif (Maroc oriental). *Phytothérapie* 8; 295–301.
- Ghenaiet I. et Aouidet S., 2016. Etude de l'impacte des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* sur *Rhyzopertha dominica* : Aspect toxicologique et biomarqueur. Mém. Mas. Univ. Tébessa, Algérie. 46p.
- Ghorbanli M., Gran A. & Zolfaghary A., 2011. The study of Allelopathic potential in three species of *Glaucium* Mill. on *Sinapis arvensis* L. *Iranian Journal of plant*
- Godinho I., 1984. Les définitions d' "adventice" et de "mauvaise herbe". *Weed Research*; (24): 121-125.
- Gomez J.F., 2011. *Artemisia annua* allélopathie as a Potential *Striga* Control Mechanism. Rapport de projet de recherche. 28p.
- Gonzalez V. M., KazimirJ., Nimbac., Weston L.A. & Cheniae G. M., 1997. Inhibition of a photosystem II electron transfer reaction by the natural product sorgoleone. *Journal of Agricultural and food Chemistry*; (45):1415-1421.
- Grabmann J., 2005. Terpenoids as Plant Antioxidants. *Vitamins and Hormones*; (72): 505-535.
- Grulová D., Pl'uchtová M., Fejér J., De Martino L., Caputo L., Sedlák V. & De Feo V., 2019. Influence of six essential oils on invasive *Solidago canadensis* L. seed germination. *Natural Product Research*.

- Guijarro-Real C., Adalid-Martínez A.M., Aguirre K., Prohens J., Rodríguez-Burruezo A. & Ana Fita A., 2019. Growing conditions affect the phytochemical composition of edible wall rocket (*Diplotaxis erucoides*). *Agronomy*; (9) 858: 1-14.
- Gul B., Ijaz S. & Khan H., 2019. Allelopathic effect of *Lotus* and Arrowhead weed on Wheat, Wild oat and Milkthistle germination. *Planta Daninha*; 1-7.
- Hachani C., Abassi M., Lazhar C., Lamhamdi M.S. & Béjaoui Z., 2018. Allelopathic effects of leachates of *Casuarina glauca* Sieb. ex Spreng. And *Populus nigra* L. on germination and seedling growth of *Triticum durum* Desef. under laboratory conditions. *Agroforestry Systems*; 93 (5): 1973-1983.
- Hanana M., Bejia A., Amri I., Gargouri S., Jamoussi B. et Hamrouni L., 2014. Activités biologiques des huiles essentielles de pins. *Journal of New Sciences*; 4(3): 18-32.
- Hani M., 2005. Etude de quelques graines des mauvaises herbes et la répartition des importantes espèces dans les hautes plaines sétifiennes. *Mém Mag. Biol. Végé.*, UFA Sétif; 143P. (Document en arabe).
- Hani M., 2012. Etude morphologique et biologique des graines de quelques mauvaises herbes des céréales d'hiver dans les hautes plaines Sétifiennes. *Thèse Doc. Sci. UFA Sétif-1*, 178P. (Document en arabe).
- Hashoum H., 2017. Impact du changement climatique sur les interactions biotiques en forêt méditerranéenne; approches chimique, écophysiological et fonctionnelle. *Thèse Doc. en sciences de l'environnement. Univ. Aix-Marseille*, 127p.
- Haugland E. & Brandsaeter L.O., 1996. Experiments on bioassay sensitivity in the study of allelopathy. *Chemical Ecology*; (22): 1845-1895.
- Heisey R.M. 1999. Development of an Allelopathic Compound from Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) as a Natural Product Herbicide. In *Biologically active natural products: agrochemicals*. CRC Press, Florida. 58-68p.
- Hmimina M., 2014. La Lutte Intégrée: historique, complexité, principes et mise en œuvre. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*; (6): 1-20.
- Hopkins G. W., 2003. *Physiologie végétale*. Ed. De boek, Bruxelles, Belgique. 495P.
- Inayat N., Muhammed Z., Khan R., Quradha M. M., Ullah R. & Abdul Majeed A., 2019. Herbicidal evaluation of the aqueous extract of *Populus nigra* L. leaves on six weed species. *Turkish Journal of Weed Science*; 22 (2): 153-157.
- Inderjit, Asakawa C. & Dakshini K., 2000. Allelopathic potential of *Verbesina encelioides* root leachate in soil. *Canadian Journal of Botany*; (77): 1419-1424.
- Inderjit C. & Callaway M.R., 2003. Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil*, Springer; (256): 1-11.
- Inderjit C., 2005. Soil Microorganisms: An Important Determinant of Allelopathic Activity. *Plant Soil*; (274): 227-36.

- Ipek S., Ozlem B.A., Gulcin S.C., Hikmet K., Burcin E., & Esra K.A., 2012. In vivo and in vitro evaluation of the therapeutic potential of some turkish *Scorzonera* Species as wound healing agent. *Current Pharmaceutical design*; 18 (10): 421-1433.
- Ishfaq Khan M., Khan I., Khan R., Ahmad I. & Ullah H., 2016. Responce of wheat (*Triticum aestivum* L.) biotopes towards weeds allelopathy. *Journal of Agricultural Research*; 54(1): 35-41.
- Jarchow M.E. & Bradley J.C., 2009. Allelopathy as a mechanism for the invasion of 8Typha angustifolia. *Plant Ecology*; (124): 113-124.
- Jones G., 2009. Modélisation d'images agronomiques - application à la reconnaissance d'adventices par imagerie pour une pulvérisation localisée. Thèse Doc. en Sciences et Techniques , Univ. De Bourgogne, Dijon, France. 175p.
- Ka S.L., Mbaye M.S., Gueye M., Camara A., Dieng B. et Noba K., 2019. Flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance, zone soudanienne du Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical sciences*; 13(1): 411-425.
- Kartal M., Altun M.L. & Kurucu S., 2003. HPLC method for the analysis of harmol, harmalol, harmine and harmaline in the seeds of Peganum harmala L. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*; (31): 263- 269.
- Kato-Noguchi H. & R.J.Peters, 2013. The Role of Momilactones in Rice Allelopathy. *J. Chem. Ecol.*; (39):175–185.
- Kaur S., Pal Singh H., Mittal S., Batish D.R. & Kohlia R.K., 2010. Phytotoxic effects of volatile oil from *Artemisia scoparia* against weeds and its possible use as a bioherbicide. *Industrial Crops and Products*; (32): 54–61.
- Khan R., Waqas M. & Khan A., 2012. Allelopathy of *Ammi visnaga* (L.) Lam. toward legumes. *Herbologia* ; 13 (1):11-19
- Kobayashi K., 2004. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management*; (4): 1-7.
- Kouadria M., Hassani A., et Ghezali D., 2019. Désherbage des sols céréaliers cultivés en semis direct (région des hauts plateaux Algériens) par utilisation de l'extrait aqueux des feuilles d'*Eucalyptus globulus*. *Revue Marocaine des sciences Agronomiques et Vétérinaires*; 7(1): 65-70.
- Kouakou J.N., Kouame F.K., Ipou J.I. et Gue A., 2016. Importance relative des mauvaises herbes de la culture du maïs dans le département de M'Bahiakro. *International Journal of Innovation and Applied Studies*; 17 (3): 768-778
- Krief S., 2003. Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observation de l'alimentation de Chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées. Thèse Doc. en Ecologie et chimie des substances naturelles. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 346 p.

- Kunz C., Sturm D.J., Varnholt D., Walker F. & Gerhards R., 2016. Allelopathic effects and weed suppressive ability of cover crops. *Plant, Soil and Environment*; (62): 60-66.
- Kunz CH., Sturm D.J., Varnholt D., Walker F. & Gerhards R., 2016. Allelopathic effects and weed suppressive ability of cover crops. *Plant Soil Environment*; 62 (2): 60–66.
- L'Etang M., 2012. Effet de différents paramètres de l'environnement sur le déterminisme biochimique d'exsudats racinaires de *Crotalaria spp.* : Application à la nématoregulation en production végétale. Thèse Doc. en Sciences Agronomiques, et Biotechnologies agro-alimentaires. Univ. des Antilles et de la Guyane. 165p.
- Labrada R., 1992. Tropical Weeds: Status and trends for their control. "1st International Weed Control Congress", Melbourne 17-21 February; (2): 263-276.
- Lamy F., 2016. Comprendre et manipuler la communication entre les plantes et les insectes pour protéger les cultures: vers l'élaboration d'une stratégie "Push-Pull" pour lutter contre la mouche du chou *Delia radicum*. Thèse. Doc. en Environnement et protection des plantes, Univ. De Rennes 1, France. 153p.
- Laoudj M., 2017. Les plantes médicinales du sahara.
- Latif S., Chiapusio G., & Weston L.A., 2016. Allelopathy and the Role of Allelochemicals in Plant Defence. *Advances in Botanical Research*; (82): 19-54.
- Leão N.P., Ramos V., Vale M., Machado J.P. & Vasconcelos V.M., 2012. Microbial Community Changes Elicited by Exposure to Cyanobacterial Allelochemicals. *Microbiology and Ecology*; (63): 85–95.
- Lebecque S., 2019. Etude des interactions de molécules phytotoxiques avec des modèles membranaires inspirés de la membrane plasmique végétale. Thèse Doc. en Sciences agronomiques et ingénierie biologique, Univ. De Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 175p.
- Lebezda R., 2005. Etude de la germination et la répartition du *Bromus sp* des céréales dans les hautes plaines sétifiennes. *Mém Mag. Biol. Végé.*, UFA Sétif; 103p. (Document en arabe).
- Lebezda R., 2018. Etude des groupements des mauvaises herbes des cultures irriguées dans la région de Sétif. Thèse Doc. Sci. UFA Sétif, 120p. (Document en arabe).
- Leblanc M. L., Cloutier D. C., Leroux G. D. et Hamel C., 1999. Facteurs impliqués dans la levée des mauvaises herbes au champ. *Phytoprotection*; (79): 111-127.
- Lefebvre M., Leblanc M., Tellier S. et Gilbert P.A., 2012. Utilisation de cultures à huiles essentielles comme dés herbant en productions végétales biologiques. Rapport final réalisé dans le cadre du programme de soutien au développement de l'agriculture biologique. Québec, Canada. 59p.

- Li Y. et Li D., 2012. Concurrence entre *Microcytis aeruginosa* toxique et *Microcytis wesenbergii* non toxique avec *Anabaena* PCC7120. *Journal of Applied phycology*; (24): 69-78.
- Li Z.H., Wang Q., Ruan X., Pan C-D. & Jiang D.A., 2010. Phenolics and Plant Allelopathy. *Molecules*; 15 (12): 8933–8952.
- Linhardt Y.B., Gauthier P., Keefover-Ring K. et Thompson J.D., 2015. Variable phytotoxic effects of *Thymus vulgaris* (Lamiaceae) terpenes on associated species. *International Journal of Plant Science*; 176 (1): 20–30.
- Liu X., Tian F., Tian Y., Y., Dong F., Xu J. & Zheng Y., 2016. Isolation and identification of potential allelochemicals from aerial parts of *Avena fatua* L. and their allelopathic effect on Wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Lovett J.V., Rayuntya M.Y. & Liu D.L., 1989. Allelopathy, chemical communication and plant defense. *Chem. Ecol.*; (15): 1193-1201.
- Machado S., 2007. Allelopathic potential of various plant species on downy Brome: Implications for weed control in wheat production. *Agronomy Journal*; (99):127–132.
- Macheix J. J., Fleuriot A. et Jay-Allemand C., 2005. Les composés phénoliques des végétaux : Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR, Lausanne. 91-92p.
- Macias F.A., Molinillo J.M.G., Varela R.M. & Galindo J.C.G., 2007. Allelopathy—a natural alternative for weed control. *Pest Management Science*; (63): 327-348.
- Madjid A., Ali Moradi L., & Mohsal R.M.H., 2006. Allelopathic effects of *Bunium persicum* and *Cuminum cyminum* essential oils on seed germination of some weeds species. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*; 3 (33): 198-208.
- Mamarot J. et Rodriguez A., 2014. Mauvaises herbes des cultures. Ed. ACTA. Paris, France. 569P.
- Masada Y., 1976. Analysis of essential oils by Gas Chromatography and Mass Spectrometry. J. Wiley & Sons, Inc. New York.
- Massalha H., Korenblum E., Tholl D. & Aharoni A., 2017. Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. *Plant Journal*; (90): 788-807.
- Meazza G., Scheffler B. E., Tellez M. R., Rimando A. M., Romagni J. G., Ducke S. O., Nanayakkara D., Khan I. A., Abourashed E. A. & Dayan F. E., 2002. The inhibitory activity of natural products on plant p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. *Phytochemistry*; (60): 281-288.
- Melakhessou Z., Demnati F. & Demes M.R., 2018. Allelopathic potential of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. on the germination and growth of durum wheat (*Triticum*

- durum Desf.). Research and innovation as tools for sustainable agriculture, food and nutrition security. MEDFORUM. Bari, Italy, 18-20 Septembre.
- Mercier B., Prost J. et Prost M., 2009. L'huile essentielle de térébenthine et sa partie la plus volatile α et β Pinènes: une revue bibliographique. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*; 22(4): 331 – 342
- Merouane A., Noui A., Medjahed H., Benhadj Ali K.N. et Saadi A., 2014. Activité antioxydante des composés phénoliques d'huile d'olive extraite par méthode traditionnelle. *Internatinal Jounal of Biological and Chemical Sciences* 8(4): 1865-1870.
- Mersey B., G., Hall J.C., Anderson D.M. & Swanton C.J., 1990. Factors affecting the herbicidal activity of glufosinate-ammonium: absorption, translocation and metabolism in barley and green foxtail. *Pesticide Biochemistry and Physiology*; 37(1): 90-98.
- Mirzaie M., 2007. Treatment of natural tropical theileriosis with the extract of the plant *Peganum harmala*. *Korean Journal of Parasitology*; (45): 267-271.
- Modnicki D., Lamparski R., Balcerek M. & Załuski D., 2019. The effect of the produce of Phenolic compounds in some Brassicaceae plants on *Dolycoris baccarum* and *Carpocoris fuscispinus* feeding and development (Pentatomidae, Hemiptera). *Acta Sci. Pol. Agricultura*; 18(1): 29–37.
- Modnicki D., Lamparski R., Balcerek M. & Załuski D., 2019. The effect of the produce of phenolic compounds in some Brassicaceae plants on *Dolycoris baccarum* AND *Carpocoris fuscispinus* feeding and developpement (Pentatomidae, Hemiptera). *Acta Sci. Pol. Agricultura*; 18(1): 29-37.
- Moradshahi A., Ghadiri H. & Ebrahimikia F. 2003. Allelopathic effects of crude volatile oil and aqueous extracts of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., leaves on crops and weeds. *Allelopathy Journal*; 12 (2): 189-195.
- Moumni M., El wathik L., Kasimi A. et Homrani Bakali A., 2013. Induction du chémotype à Davanone de l'huile essentielle d'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) par domestication a Errachidia (Sud-Est du Maroc). *Science Lib. Ed. Mersenne* 5; n°130506.
- Moussaoui K., Boucheref A., Zekkari I., Verdeguer Sancho M. et Djazouli Z., 2017. Potentiel allélopathique de bioproduits formulés à base d'huiles essentielles de *Pistacia lentiscus* (L., 1753) et de *Cupressus arizonica* (Greene, 1882). *Agrobiologia*; 7 (2): 539-547.
- Movellan J., Rocher F., Faucher M., Marivingt-Mounir C., Bonnemain J.L. et Chollet J.F., 2012. Synthèse d'analogues halogénés de la m-tyrosine : évaluation des propriétés biologiques de la m-tyrosine et de ses dérivés. 42^e congrès du Groupe Français des Pesticides, 30 mai – 1er juin.
- Mpondo E.M., Dibong D.S., Yemeda C.F.L., R. J. Priso R. J. et Ngoye A., 2012. Les plantes à phénols utilisées par les populations de la ville de Douala. *Journal of Animal and Plant Sciences*; 15 (1): 2083-2098.

- Muhammad Z., Inayat N., Majeed A., Rehmanullah, Ali H. & Ullah E., 2019. Allelopathy and Agricultural Sustainability: Implication in weed management and crop protection—an overview. *European Journal of Ecology*; 5 (2): 54-61.
- Musavi S.A., Feizi H., Ahmadian A. & Darbandi E.I., 2018. The allelopathic effects of organs extracts of Saffron plant on the growth and germination of *Hordeum murinum* L. and *Descurainia sophia* L. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*; (6) 20: 216-239.
- Mustafa K.F., Kharsaw M.N., Tahir N.A., Nadir S.H. & Mahmood H.N., 2018. Allelopathic effects of aqueous of liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) on seed germination and seedling growth of wheat and some weed species. *Journal of Zankoy Sulaimani*.
- Narwal S.S., 2000. Allelopathy in Ecological Agriculture. In *Proceedings of the III International Congress on Allelopathy in Ecological Agriculture and Forestry*, 18-21 August 1998, Dharwad, India. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 11-32p.
- Nawaz A., Farooq M., Cheema S.H. & Z.A.Cheema, 2014. Role of Allelopathy in Weed Management. *Recent Advances in Weed Management*, Ed. Chauhan B.S. and Mahajan G., Springer Science+Business Media, New York: 39-61.
- Nay B., et Zhang W., 2019. Nature chimique herbicide : le potentiel des substances naturelles en agriculture. *Revue des Oenologues et des Techniques Vitivinicoles et Oenologiques*; (172):9-11.
- Nguyen C., Chemin A., Vincent G. et Gaviglio C., 2015. Beloukha, un nouvel agent de lutte biologique, déshydratant, à effet herbicide. 5^e Conférence internationale sur les méthodes alternatives de protection des plantes, 11-13 mars, Nougat Sièle, Lille, France.
- Nichols V., Verhulst N., Cox R. & Govaerts B., 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles. *Field Crop Research*; (183): 56-68.
- Niemeyer H. M., 1988. Hydroxamic acids (4-hydroxy-1,4-benzoxazin-3-ones), defence chemicals in the Gramineae. *Phytochemistry*; (27): 3349-3358.
- Nimbal C.I., Yerkes C.N., Westo L.A. & Weller S.C., 1996. Herbicidal activity and site of action of the natural product sorgoleone. *Pesticide Chemistry and Physiology* 54:73-270.
- NIST, 2002. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, vers.2.0. fiveash data, USA.
- Oberhaus L., Briand J.F. & Humbert J.F., 2008. Allelopathic growth inhibition by the toxic, bloom-forming cyanobacterium *Planktothrix rubescens*. *FEMS Microbiology Ecology*; 66 (2): 243–249.
- Olina Bassala J.P., 2010. Le semis direct sans labour et avec utilisation des herbicides dans la zone cotonnière au Nord Cameroun. *Diffusion, impacts agronomiques*

- et socio-économiques d'une innovation en pleine expansion. Thèse Doc. en Etudes Rurales Univ. de Toulouse, 299p.
- Oulebsir-Mohandkaci H., S. Ait Kaki S. & Doumandji-Mitiche B., 2015. Essential Oils of two Algerian aromatic plants *Thymus vulgaris* and *Eucalyptus globulus* as Bio-insecticides against aphid *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Walfenia Journal Klagenfurt, Australia*; 22 (2).
- Page L. et Grume M., 2014. Allélopathie végétale. Agroneo, Sciences agricoles.
- Pannacci E. et Tei F., 2014. Effets des méthodes mécaniques et chimiques sur le contrôle des mauvaises herbes, la pluie des graines de mauvaises herbes et le rendement des cultures de maïs, de tournesol et de soja. *Crop Protection*; (64): 51-59.
- Pannacci E., Lattanzi B. & Tei F., 2017. Non chemical weed management strategies in minor crops. *Crop Protection*; (96): 44-58.
- Parry G., 1982. Le cotonnier et ses produits. Maisonneuve et La rousse, Paris. 88p.
- Pedrol N., González L. & Reigosa M.J., 2006. Allelopathy and abiotic stress. *Allelopathy*, chapter 9; 171-209.
- Pinto A.P.R., Seibert J.B., Dos Santos O.D.H., Filho C. S. A.V. & Nascimento A. M., 2018. Chemical constituents and allelopathic activity of the essential oil from leaves of *Eremanthus erythropappus*. *Australian Journal of Botany*; (66): 601–608.
- Poirot T., 2016. Bon usages des huiles essentielles, effets indésirables et toxicologie. Thèse. Doc. en Pharmacie, Univ. Lorraine, France. 88p.
- Pousset J., 2009. Agriculture naturelle : Face aux défis actuels et à venir, pourquoi et comment généraliser une pratique agricole "naturelle" productive. Agridécisions, Paris. 155P.
- Pyon J.Y., Lee J.J., & Park K.W., 2017. Status and perspective of bioherbicide development for organic weed management. *Weed and Turfgrass Science*; 6 (1): 1-10.
- Qin L., Miki N.H., Zhang G. & Fujii Y., 2019. Allelopathic effects of revegetation species *Juniperus sabina* L. in semiarid areas of China. *Landscape and Ecological Engineering*.
- Quennesson S. et Oste S., 2017. Gestion des adventices par la couverture végétale du sol en agriculture et espaces verts: panorama de techniques utilisées. 6^e conférence sur les moyens alternatifs de protection pour une production intégrée; 21, 22 et 23 Mars, Lille, France.
- Quezel P. et Santa S., 1962-1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 Vol. CNRS, Paris, 1170p.
- Rajendra P., Tripathi V.D., Prashant S., Handa A.K., Alam B. Ramesh S. & Chaturvedi O.P., 2016. Allelopathic potential of *Butea monosperma* L.: effect of aqueous

- leaf extracts on seed germination and seedling growth of winter season (rabi) crops. *Indian journal of Agroforestry*; 18 (1): 63-69.
- Reboud X., Gaba S., Borgy B., Bonneau M., Délos M. et Fried G., 2013. Que nous disent les réseaux d'observatoires sur les réactions de la flore adventice aux évolutions des pratiques agricoles?. *Innovations Agronomiques, INRA*; (28): 127-140.
- Reynier A., 2000. *Manuel de viticulture*. 8^{ème} Ed. Tec Doc, Paris, 514p.
- Rial C., Novaes P., Varela R.M., Molinillo J.M.G., & Macias F. A., 2014. Phytotoxicity of Cardoon (*Cynara cardunculus*) Allelochemicals on Standard Target Species and Weeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 62 (28): 6699-706.
- Rice E. L., 1984. *Allelopathy*. 2nd edition, Academic. Press, New York. 422 p.
- Roberts H. A., 1982. Seed banks in soils. *Adv. in Appl. Biol.*; (6): 1-55.
- Rsaissi N., Bouhache M. et Bencharki B., 2013. Potentiel allélopathique du figuier de barbarie « *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill » sur la germination et la croissance du jujubier « *Ziziphus lotus* (L.) Desf. ». *International Journal of Innovation and Applied Studies*; 3 (1): 205-214.
- Russo S., Cabrera N., Chludil H., Yaber-Grass M. & Leicach S., 2015. Insecticidal activity of young and mature leaves essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill. against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chilean Journal of Agricultural Research*; 75 (3).
- Salvatore V., 2007. Alternative properties of Artemisia phyto-extracts (Asteraceae): allelopathy contribution on the agro-ecology of the crops covered by the Co.AL.Ta. *Il Naturalista Campano*; (13): 1-13.
- Sarić-Krsmanović M., Umiljendić J.G., Radivojević L., Šantrić L., Potočnik I. & Đurović-Pejčev R., 2019. Bio-herbicidal effects of five essential oils on germination and early seedling growth of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.). *Journal of Environmental Science and Health*.
- Scavo A., Restuccia A., Pandino G., Onofri A. & Mauromicale G., 2018. Allelopathic effects of *Cynara cardunculus* L. leaf aqueous extracts on seed germination of some Mediterranean weed species. *Italian Journal of Agronomy*; (13): 1021.
- Schütz J.P., 1990. *Sylviculture : Principes d'éducation des forêts*. PPUR, Lausanne. 127 p.
- Sekeroglu N., Kaya D.A., Inan M. & Kirpik M., 2006. Essential Oil Contents and Ethnopharmacological Characteristics of Some Spices and Herbal Drugs Traded in Turkey. *International Journal of Pharmacology*; 2 (2): 256-261.
- Selim S.A., Abdel Aziz M.H., Mashait M.S. & Warrad M.F., 2013. Antibacterial activities, chemical constituents and acute toxicity of Egyptian *Origanum majorana* L., *Peganum harmala* L. and *Salvia officinalis* L. essential oils. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*; 7(13): 725-735.

- Seyyednejad S.M., Koochak H., Najafabade F.P. & Kolahi M., 2010. Allelopathic effect of aquatic hull extract of rice (*Oryza sativa* L.) on growth of *Silybum marianum* and *Echinochloa crus-galli*. African Journal of Agricultural Research; 5 (16): 2222-2226.
- Shafique S., Bajwa R., Shafique S. & Javaid A., 2011. Herbicidal effects of aqueous extracts of three *Chenopodium* species on *Avena fatua* L. African Journal of Biotechnology; 10 (34): 6492-6496.
- Silvestre D.J.A., Cavaleiro J.A.S., Delmond B., Filliatre C. & Bourgois G., 1994. The essential oil of *Eucalyptus globulus* Labill. from Portugal. Flavour and Fragrance Journal; 9 (2): 51-53
- Silvy CH., 1999. Quantification... le phytosanitaire. Courrier de l'environnement; (19): 201-212.
- Singh H.P., Kohli R.K. & Batish D.R., 2000. Allelopathic interference of *Populus deltoids* with some winter season crops. Agronomie; (21): 139-146.
- Sodaeizadeh H. & Hosseini Z., 2012. Allelopathy an environmentally friendly method for weed control. International Conference on Applied Life Sciences. Turkey, September 10-12.
- Sodaeizadeh H.J. & Van Damme P., 2009. Role of phenolic compounds release by *Peganum harmala* L. on germination and growth suppression of *Convolvulus arvensis* L. Planta Medica; 75 (9): 908-909.
- Soltys D., Krasuska U., Bogatek R. & Gniazdowska A., 2013. Allelochemicals as bioherbicides - present and perspectives.
- Song A., Wang Y., & Liu Y., 2009. Study on the chemical constituents of the essential oil of the leaves of *Eucalyptus globulus* Labill from China. Asian Journal of Traditional Medicines; 4(4).
- Souissi T., 2011. Valorisation du potentiel allélopathique de certaines espèces dans la lutte intégrée contre le millepertuis (*Hypericum sp.*) dans les systèmes céréaliers. Rapport d'action de recherche, Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricoles, Tunisie; 7p.
- Sumalan R.M., Alexa E., Popescu I., Negrea M. Radulov I., Obistoiu D. & Cocan I., 2019. Exploring ecological alternatives for crop protection using *Coriandrum sativum* Essential Oil. Molecules; (24): 2040.
- Tahir N.A., Qader K.O., Azeez H.A. & Rashid J.S., 2018. Inhibitory allelopathic effects of *Moringa oleifera* Lamk plant extracts on wheat and *Sinapis arvensis* L. Allelopathy Journal; 44 (1): 35-48.
- Tapondjou L. A., Adler C., Bouda H. & Fontem D.A., 2003. Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera, Bruchidae). Cahiers Aaricultures; (12): 401-7.
- Tardy F., 2015. Caractérisation fonctionnelle des stratégies de compétition pour les ressources aériennes et souterraines au sein d'une gamme d'espèces végétales:

- application à la régulation biologique des adventices par les plantes de services dans l'agrosystème bananier antillais. Thèse Doc. en Ecologie fonctionnelle et sciences agronomiques, Univ. de Montpellier, 150 p.
- Thierry Doré T., Sène M., Pellissier F., et Gallet C., 2004. Approche agronomique de l'allélopathie. Cahiers Agricultures; (13): 249-56.
- Tilaki G., Gholami F., Behtari B. & Bezdi G., 2013. Chemical composition and allelopathic effect of the essential oil of *Artemisia herba-alba* Asso. on seed germination and early seedling growth of legumes and grasses species. Legume Research Journal; 36 (1): 33-40.
- Torres A., Oliva R. M., Castellano D. & Cross P., 1996. Proceedings of First World Congress on Allelopathy. A Science of the Future. SAI, University of Cadiz, Cadiz, Spain. 278p.
- Touré A., 2014. Gestion agronomique et dynamique des mauvaises herbes dans les systèmes de riz de bas fond en Afrique de l'Ouest. Thèse Doc. en Sci. Agro., Univ. Abomey-Calavi, Bénin; 250p.
- Triolet M., Cordeau S., Steinberg C. et Guillemain J.F., 2016. Agriculture sans herbicides; principes et méthodes. Agroécologie, Dijon, France.
- Triplet P., 2015. Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature. 721p.
- Tripodi P., Francese G. & Mennella G., 2017. Rocket salad: crop description, bioactive compounds and breeding perspectives. Adv. Hort. Sci.; 31(2): 107-113.
- Tschusy F., Gfeller A., Azevedo R., Khamissé C., Henriot L. & Wirth J., 2014. Suppression des adventices par les couverts végétaux: différents facteurs analysés. Recherche Agronomique Suisse; 5 (7-8): 292-299.
- Turk M.A., & Tawaha A.M., 2003. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). Crop Protection ; (22): 673–677.
- Ul Subtain M., Hussain M., Tabassam M. A. R., Akbar A. M.A., Ali M., Mohsin M. & Mubushar M., 2014. Role of allelopathy in the growth promotion of plants. Scientia Agriculturae; 2 (3): 141-145.
- Upadhyaya M. K., & Blackshaw R. E., 2007. Non-chemical weed management: principles, concepts and technology. CABI Publishing, Wallingford, UK. 71p.
- Valantin-Morison M. & Meynard J.M., 2008 . Diagnosis of limiting factors of organic oilseed rape yield. A survey of farmers' fields. Agronomy for sustainable development; 28 (21): 527-539.
- Van Evert F.K., Fountas S., Jakovetic D., Crnojevic V., Travlos I. & Kempenaar C., 2017. Big Data for weed control and crop protection. Weed Research; 57(4):218-233.

- Vermue A., 2014. Contribution à l'évaluation multicritère des systèmes de culture en protection intégrée contre les adventices: cas des émissions de protoxyde d'azote. Thèse Doc. en Sci. Agro., Univ. De Bourgogne, Dijon, France, 122p.
- Vilela G.R., Almeida G.S., Arce M.A.B.R, Moraes M.H.D., Brito J.O., Silva M.F.F., Silva S.C., Piedade S.M.S., Domingues M.A.C. & Gloria E. M., 2009. Activity of essential oil and its major compound, 1,8-cineole, from *Eucalyptus globulus* Labill., against the storage fungi *Aspergillus flavus* Link and *Aspergillus parasiticus* Speare. *Journal of Stored Products Research*; (45): 108-111.
- Vratnica D.B., Đakov t., Šuković D. & Damjanović J., 2011. Antimicrobial Effect of Essential Oil Isolated from *Eucalyptus globulus* Labill. from Montenegro. *Czech Journal of Food Science*; 29 (3): 277–284.
- Waheed Murad R. U., Khan A., Zulqarnain H. & Khan Z., 2016. Allelopathic effect of *Silene villosa* on germination and seedling growth of *Triticum aestivum* L. *Journal of Pharmacy Research*; 10 (4): 176-180.
- Walbott M., Gallet C. & Corcket E., 2018. Beech (*Fagus sylvatica*) germination and seedling growth under climatic and allelopathic constraints. *Ecology*; (341) 9-10: 444-453.
- Walder F., Brulé D., Koegel S., Wiemken A., BÖoler T. & Courty P.E., 2015. Plant phosphorus acquisition in a common mycorrhizal network: regulation of phosphate transporter genes of the Pht1 family in sorghum and flax. *New Phytologist*; (205): 1632-1645.
- Wardle D.A., Nicholson K.S. & Rahman A., 1993. Influence of plant age on the allelopathic potential of nodding thistle (*Carduus nutans* L.) against pasture grasses and legumes. *Weed Research*; 33 (1): 69-78.
- Wasan S.H., Djenane A.S. et Amer M.M., 2018. L'effet des résidus des végétaux de certaines cultures sur les caractéristiques phénologiques et anatomiques de quatre types de brousse (*Silybum marianum* L., *Lolium rigidum* L., *Panicum* Spp L. et *Sonchus oleraceus* L.). *Journal de l'Agriculture de la Mésopotamie*; 46 (4): 393-406. (L'article est en Arabe)
- Weih M., Didon U.M.E., Rönnberg-Wästljung A.-C. & Björkman C., 2008. Integrated agricultural research and crop breeding: Allelopathic weed control in cereals and long-term productivity in perennial biomass crops. *Agricultural Systems*; (97): 99–107.
- Wichtel M. et Anton R., 1999. Plantes thérapeutiques; tradition pratique, officinale, science et thérapeutique. Ed. Tech. Doc. 636p.
- Xavier F. et Laurant T., 1987. Etudes des effets allélopathiques d'une couverture de Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) sur *Geranium*, cultures vivrières et certaines plantes adventices. *Mém. Ecole Supérieur d'Agriculture d'Angers*, 154 p.
- Yang X., Owens T.G., Scheffler B. & Weston L.A., 2004. Manipulation of root hair development and sorgoleone production in sorghum seedlings. *Journal of Chemical Ecology*; 30 (1):199-213.

- Yinyang J., Mpondo Mpondo E., Tchatat M., Ndjib R.C., Mvogo Ottou P.B. et Dibong S.D., 2014. Les plantes à alcaloïdes utilisées par les populations de la ville de Douala (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*; (78): 6600-6619.
- Zehhar G., Ouazzani Touhami A., Badoc A. et Douira A., 2006. Effet des Fusarium des eaux de rizière sur la germination et la croissance des plantules de riz. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*; 145: 7-18.
- Zohaib A. Abbas T. & Tabassum T., 2016. Weeds cause losses in field crops through allelopathy. *Notulae Scientia Biologicae*; 8(1): 47-56.
- Zouari S., Zouari N., Fakhfakh N., Bougatef A., Aydi M.A. & Neffatil M., 2010. Chemical composition and biological activities of a new essential oil chemotype of Tunisian *Artemisia herba alba* Asso. *Journal of Medicinal Plants Research*; (4): 871- 880.
- Zrira S., Benjilani B., Fechtal M. & Richard H., 2011. Essential oils of Twenty Seven Eucalyptus species grown in Morocco. *Journal of Essential Oil Research*; 4(3): 259-264.
- Zunino M.P. & Zygadlo J.A., 2004. Effect of monoterpenes on lipid oxidation in maize. *Planta*; (219): 303-309.

Annexes

Annexe 01: Position systématique de (A) *Peganum harmala* L., (B) *Artemisia herba-alba* Asso. et (C) *Eucalyptus globulus* Labill. selon APG III (2009).

(A)

Division	Angiospermes
Clade	Eudicotylédones
Clade	Rosidées
Ordre	Sapindales
Famille	Nitrariaceae
Genre	<i>Peganum</i>
Espèce	<i>Peganum harmala</i> L.

(B)

Division	Angiospermes
Clade	Eudicotylédones
Clade	Asteridées
Ordre	Asterales
Famille	Asteraceae
Tribue	Anthemideae
Genre	<i>Artemisia</i>
Espèce	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.

(C)

Division	Angiospermes
Clade	Eudicotylédones
Clade	Rosidées
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae
Genre	<i>Eucalyptus</i>
Espèce	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.

Annexe 02: Liste des espèces adventices choisis pour notre étude, d'après la nomenclature de la nouvelle flore de l'Algérie et des zones désertiques et méridionales (Quezel et Santa, 1962-1963).

Nom de l'espèce adventice	Famille botanique	Type biologique	Origine biogéographique
<i>Diploaxis tenuifolia</i> L.	Brassicaceae	Thérophyte	Sud-européen
<i>Sinapis arvensis</i> L.	Brassicaceae	Thérophyte	Paléotempère
<i>Ammi visnaga</i> Lamk.	Apiaceae	Thérophyte	Méditerranéen
<i>Bromus madritensis</i> L.	Poaceae	Thérophyte	Méditerranéen atlantique
<i>Hordeum murinum</i> L.	Poaceae	Thérophyte	Circumboréale
<i>Avena fatua</i> L.	Poaceae	Thérophyte	Macaronésien-Méditerranéen
<i>Mantiscalca salmentica</i> (L.) Briq. & Cavill	Asterceae	Hémicryptophyte	Européen
<i>Scorzonera laciniata</i> L.	Asterceae	Thérophyte	Subméditerranéen-Sibérienne
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	Asterceae	Hémicryptophyte	Cosmopolite

Annexe 03: Photos des semences des adventices choisies pour notre étude.



Photo 01: Semences d'*Ammi visnagra* Lamk. (Benarab, 2017)



Photo 02: Semences de *Bromus madrtensis* L. (Benarab, 2017)



Photo 03: Semences d'*Avena fatua* L. (Benarab, 2017)



Photo 04: Semences de *Diplotaxis tenuifolia* L. (Benarab, 2017)



Photo 05: Semences de *Mantisalca salmentica* (L.) Briq. & Cavill. (Benarab, 2017)



Photo 06: Semences de *Scorzonera laciniata* L. (Benarab, 2017)



Photo 07: Semences de *Silybum marianum* (L.) Gaertn. (Benarab, 2017)



Photo 08: Semences de *Sinapis arvensis* L. (Benarab, 2017)



Photo 09: Semences d' *Hordeum murinum* L. (Benarab, 2017)

Annexe 04: Caractéristiques des sites de récolte de *Peganum harmala* L.

Caractéristiques	Hamмам Gergour	Boussaâda
Lieu dit	Naidj	Foret d'El-Allig
Localisation géographique	Nord-Ouest de la Wilaya de Sétif (Algérie)	Sud-Ouest de la wilaya de M'Sila (Algérie)
Coordonnées géographiques	36°19'00" Nord 5°04'00" Est	16°54'97" Nord 38°84'130" Est
Altitude	800m	900m
Date de récolte	Juin 2017	Juin 2018

Annexe 05: Les principaux composés de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba*
Asso. de différents pays.

Pays	Rendements	Les principaux composants	Référence
Algérie (Biskra)	0.95%	l'acétate de cis-chrysanthényle (25,12%), du 2E,3Z-2-éthyliden-6-méthyl-3,5-heptadiène (8,39%), de l' α -thujone (7,85%), de l'acétate de myrtényle (7,39%), de la verbénone (7,19%), de la chrysanthénone (4,98%)	Bezza et al. (2010)
Algérie (Saida)	0.93%	le camphre (29,81%), le cyclopentadiène, 1,2,5,5-tetraméthyl (15,58%), le chrysanthénone (8,21%) et Eucalyptol (6,51%).	Bouzidi (2016)
Maroc (Guerçif)	1.23%	Chrysanthénone (48,45%), camphre (24,85%), l' α -thujone (4,40%),	Ghanmi et al. (2010)
Tunisie (Matmata)	0.65%	α -thujone (43,85%), trans-acétate de sabinyle (17,46%) et β -thujone (10,10%), accompagné de faible quantité de 1,8-cinéole (3,30%), chrysanthénone (2,32%) et acétate de chrysanthényle (3,93)	Akrout (2004)
Tunisie	/	Acétate de cis-chrysanthényle (10,60%), acétate de sabinyle (9,13%) et α -thujone 8,73%.	Zouari et al. (2010)
Algérie	/	Le camphre (17-33%), thujone (7-28%) et chrysanthénone (4-19%).	Belhattab et al. (2012)

Annexe 06: Les principaux composés de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* Labill. de différents pays

Pays	Rendements	Les principaux composants	Référence
Maroc	/	1,8 cineol (+ 70%).	Zrira et al. (2011)
Brazil	/	1,8 cineol (89.5%).	Vilela et al. (2009)
Monténégro	1.8%	1.8 cineole (85.8%), α -pinene (7.2%), and β -myrcene (1.5%).	Vratnica et al. (2011)
Chine	0.18%	1,8-eucalyptol (72.71 %), α -pinene (9.22 %), α -terpineol (2.54 %), (-)-globulol (2.77 %), α -terpineol acetate (3.11 %), alloaromadendrene (2.47 %).	Song et al. (2009)
Ethiopie	/	and 1,8-cineole (34.5–57.5%), α -pinene (13.2–44.7%)xg	Dagne et al. (2011)
Portugal	/	1,8-cineole, α -pinene, limonene, aromadendrene, δ -cadinene (93 %).	Silvestre et al. (1994)
Algérie (kabili)	/	1,8-cinéole (81,70 %).	Djenane et al. (2011)
Algérie (Hajout)	2.83%	1.8 cineol (78.8%), α -pinene (8.15%).	Faudil cherif et al. (1993)
(Azzefoun)	1.20%	1.8 cineol (80.10%), α -pinene (4.19%).	
Algérie (Ain Defla)	0.33%	Spathulenol (22.60%), para Cymene (11.82%), Benzene,1-methyle-2-(1-methylethyl) (11.33%) - Benzene,1-Methyle-4-(1-Methyle (9.16%).	Benabdallah et Drici (2018)

Algérie (Média)	0.2%	Para cymene (39.49%), Spathulenol (23.38%), 2- Cyclohexen-1-one, 4-(1- methylethyle)- (6.96%).	Benabdallah et Drici (2018)
Espagne	/	p-cymene (27.22%), α -pinene (17.85%), cryptone (17.80%), spathulenol (17%), 1,8-cineole (4.10%),	Chalchat et <i>al.</i> (2011)

Acta Scientifica Naturalis

Former Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen: Chemistry, Physics, Biology, Geography
 Journal homepage: asn.shu.bg

Allelopathic activity of essential oil extracts from *Artemisia herba-alba* Asso. on seed and seedling germination of weed and wheat crops

Hadouda Benarab¹, Mohamed Fenni¹, Yacine Louadj¹, Habiba Boukhalti¹, Messaoud Ramdani¹

¹ *Laboratory Natural Ressource valorization, Faculty of Nature Life Sciences, Ferhat Abbas University Sétif-1, 19000, Sétif, Algeria*

Abstract: *The allelopathic potential of essential oil extracts from *Artemisia herba-alba* Asso. was assessed on seed germination of nine weeds and two wheat varieties. The samples were collected from El-Rasfa région (Sétif, Algeria). The essential oil was extracted using hydrodistillation of aerial part and characterized using gaz chromatography coupled with mass spectroscopy. The bioassays with organic solvent (ethanol) were tested using four different concentrations (0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 µl/ml of oil/ethanol) on seed and seedling growth of the nine weeds and two wheat varieties. The yield obtained is 1.19%, and 36 compound had been identified. The main components are: camphor (28.58%), cis-thujone (22.03%), eucalyptol (11.65%) and trans-thujone (7.03%). The results of bioassays show that essential oil extracts has a significant effect on seed germination and seedling growth of the major weed tested and two wheat varieties. In conclusion, this study shows that the essential oil tested has an interesting allelopathic potential.*

Keywords: allelopathy, *Artemisia herba-alba* Asso., essential oil, weeds, wheat

Introduction

Weed interference in agricultural fields reduces the quality and quantity of agricultural produce causing huge economic losses to farmers [1]. This influence of weeds on the crop causes significant dependence on herbicides that may have severe environmental and agronomic consequences for agriculture and society [2]. The overuse of herbicides has provoked increasing incidences of herbicide resistance in

weeds. Moreover, herbicides cause environmental pollution, unsafe agricultural products and human health concerns [3].

In response to this problem and the adverse effect of herbicides on people and environment; an interest in environmentally friendly alternatives for weeds control using natural and biodegradable product including allelochemicals have rapidly increased in recent years [4, 5, 6, 7].

Allelopathy is the biological phenomenon of chemical interaction between living organisms in the ecosystem, and it must be taken into account to address pest and weed problems for the sustainability of agroecosystems [8, 9]. Allelopathy is defined as “any process that involves secondary metabolites produced by plants, algae, bacteria, and fungi that influence the growth and development of biological systems” [10].

The allelopathic effect of plants on weed control could be very beneficial [7, 11, 12]. Volatile oils may contain so called allelochemicals which are involved in plant-plant interactions being able to inhibit seed germination and seedling growth by causing phytotoxicity. Accordingly, this ecological phenomenon of allelopathy has tremendously increased the interest in exploring essential oils for further use as potential bioherbicides in an integrated weed management system [4, 6, 13, 14, 15]. So the aim of this present research is the assessment of the effect of allelopathic potential of essential oil extracts from *Artemisia herba-alba* Asso., on seed germination of some weed species and two Algerian wheat variety.

Material and Methods

Sampling of plant Material and essential oil extraction

The Aerial parts (leaves and flower) of *A. herba-alba*, were collected at the end of May 2016 at El-Rasfa region (Located at 35°48'37" N et 5°15'37" E, south of Setif region, Algeria) at 1000 m altitude. All plant material was air-dried in shade at room temperature for 15 days, and then 300 g were subjected to hydrodistillation for 3 h, in a Clevenger type apparatus. The obtained essential oils were preserved in sealed vials at 4°C. Oil yield was calculated (w/w) on the basis of the total amount of fresh plant material. The extracted essential oil was used in the analysis of its composition by chromatography.

Chromatographic analysis of essential oil

The essential oils were analysed on a Hewlett-Packard Gas Chromatograph Model 5890, coupled to a Hewlett-Packard Model 5971, equipped with a DB5 MS column (30 × 0.25 mm; 0.25 μm), programming from 50°C (5 min) to 300°C at 5°C/min, with a 5 min hold. Helium was used as the carrier gas (1.0 ml/min); injection in split mode (1:30), injector and detector temperatures, 250 and 280°C, respectively. The mass spectrometer worked in EI mode at 70 eV; electron multiplier, 2500 V; ion source temperature, 180°C; MS data were acquired in the scan mode in the m/z range 33-450. The identification of the components was based on comparison of their mass spectra with those of NIST mass spectral library [28, 29] and those described by

Adams as well as on comparison of their retention indices either with those of authentic compounds or with literature values [30].

Weed and Cereal seed collection

Mature seeds from adult weed plants (nice species) were collected from five different regions in Sétif from field crops during the cropping season of 2015/2016 and 2016/2017 (Table 1). Seeds from Algerian wheat (MBB and Waha varieties) were collected at the harvest period in July 2016 from (Technical Institute of Field Crops) at Sétif. After collection, seeds were cleaned, kept in paper bags and dry-stored at room temperature until germination tests were performed.

Table 1. Information on studied weed species [31]

Scientific name	Botanical family name	Biological type	Biogeographical origin
<i>Diploaxis tenuifolia</i> L.	Brassicaceae	Therophyte	South of Europe
<i>Sinapis arvensis</i> L.	Brassicaceae	Therophyte	Paleotemper
<i>Ammi visnaga</i> Lam.	Apiaceae	Therophyte	Mediterranean
<i>Bromus madritensis</i> L.	Poaceae	Therophyte	Mediterranean atlantic
<i>Hordeum murinum</i> L.	Poaceae	Therophyte	Circumboreal
<i>Avena fatua</i> L.	Poaceae	Therophyte	Macaronesian-Mediterranean
<i>Mantisalea salmentica</i>	Asterceae	Hemicryptophyte	European
(L.) Briq. & Cavill	Asterceae	Therophyte	Submediterranean-Siberian
<i>Scorzonera laciniata</i> L.	Asterceae	Hemicryptophyte	Cosmopolitan
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.			

Petri dish germination bioassays

The solutions of essential oil dissolved in distilled ethanol were prepared at four concentration levels and control (0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 $\mu\text{l}/1\text{ml}$ of oil/ethanol). Seeds surface were sterilized with 1% sodium hypochlorite solution (NaClO) for 5 min and then rinsed three times with distilled water to avoid possible inhibition of germination due to fungal or bacterial toxins. Ten disinfected seeds were placed into each petri dish. One milliliter of each solution was added to each dish and then left 15 minutes for ethanol evaporation. Five milliliters of distilled water were also added to each dish and kept in darkness in an incubator at $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$. All the dishes were sealed with parafilm to avoid evaporation. After a period of 8 days, the

percentage of germination was calculated and early seedling growth (shoot and radical length) was measured. The percentage of final germination (G%) was calculated as the ratio between the number of seed germinated and the total number of seeds used in each Petri dish.

The inhibition percentage, reflected through germination and seedling length, was calculated using the following formula [32, 33]:

$$I(\%) = \frac{X_c - X_t}{X_c} \times 100,$$

where X_c : percentage of germination and seedling (shoot and radical) length in control and X_t : percentage of germination and seedling (shoot and radical) length in treatment with essential oil. The experimental design was a randomized complete block with four replications.

Statistical Analysis

For each weed and wheat variety, the data were analyzed by a one way factorial analysis ANOVA (essential oil concentration) using CROPSTAT 9.7.2 (2009). When F values were statistically significant ($P < 0.05$), treatment were compared using Fisher LSD test.

Results and Discussion

Chemical composition of essential oil

Essential oil extract of *Artemisia hreba-alba* Asso. has given a dull-yellow color of the oil with 1.19% yield; this result corroborate the result found in morocco with the same species which is 1.23% [16]. In Algeria, the oil yield extract from the species are between 0.95% [17] and 0.93% [18]. According to Akrouit [19], the yield of *Artemisia hreba-alba* in Tunisia is 0.65%, whereas the yield is about 0.35% in south of Morocco [20]. In Saudia Arabia, this species give a very low yield 0.051% [21].

The Analysis and the identification of the main compound of the essential oil have been done using GC/MS. The identified compound of the essential oil and their abundance are presented in the Table 2.

Table 2. Chemical characterization of the essential oil from *A. herba-alba*

No.	Compound	Rt (min)	Percentage
01	Santolina-Triène	10.91	0.12
02	Tricyclène	11.71	0.21
03	Alpha-Thujiène	11.84	0.04
04	Alpha-Pionène	12.14	0.50
05	Camphène	12.80	3.36
06	Thuja-2,4(10)-Diène	12.92	0.08
07	Sabinène	13.61	0.13

08	Béta-pinène	13.76	0.15
09	1-Octène-3-ol	13.91	0.08
10	Mycrène	14.15	0.01
11	Déhydro-1,8-Cinéole	14.19	0.01
12	Mésitylène	14.39	0.31
13	Alpha-Terpinène	15.16	0.01
14	Para-Cymène	15.51	1.16
15	Eucalyptol	15.82	11.66
16	Gamma-Terpinène	16.60	0.03
17	Linadol	18.08	0.65
18	Cis-Thujone	18.44	22.03
19	Trans-Thujone	18.76	7.10
20	Chrysanthénone	18.85	1.97
21	Camphre	19.83	28.58
22	Sabina cétone	19.98	0.24
23	Pinicarvone	20.16	2.41
24	Bornéol	20.57	2.72
25	Terpinen-4-ol	20.75	0.95
26	Cryptone	20.85	0.04
27	Alpha-Terpinéol	20.96	0.24
28	Myrténal	21.16	0.29
29	Verbénone	21.54	0.30
30	Nerol	21.94	0.06
31	Formate de Bornyle	22.14	0.08
32	Cuminaldéhyde	22.54	0.02
33	Carvotanacétone	22.59	0.30
34	Acétate de Cis-Chrysanthényle	22.92	2.89
35	Acétate de Bornyle	23.73	0.64
36	Acétate de trans-Sabinyle	23.76	0.07
37	Unknown 164	26.75	2.79
38	Unknown MW 206	31.60	0.65
Total			92.89

No.: Number, Rt (min): Time of retention.

The analysis of the oil allowed us to identify 36 volatile compounds, which represent about 92.89% of the total essential oil of *A. herba-alba*. This oil is mainly composed of: camphor (28.58%), cis-thujone (22.03%), eucalyptol (11.65%) and trans-thujone (7.03%), together with other constituents at relatively low levels: camphene (3.35%), cis-chrysanthenyl acetate (2.88%), borneol (2.71%) and pinocarvone (2.40%). This chemical composition is similar to that obtained and reported by several authors [16, 17, 18, 19, 22, 23]. Camphor and thujone are the most abundant elements, while eucalyptol is found only in the populations of the

Saida region (6.51%) [18], the presence of this compound is confirmed in our oil of *A. herba-alba* from the region of Setif. The chemical profile variability of its oils can be of geographical, genetic or even ecological origin (soil, humidity, etc.) [20].

Effect of the essential oil of *A. herba-alba* on early seedling growth of weed and wheat

The results obtained show that the two studied parameters (radical length and shoot length) decrease with increasing oil concentrations (Table 3 and Table 4).

Table 3. The effect of different concentrations of essential oil on radical length of weed species and wheat variety

Weed and wheat variety	Essential oil concentration (µl)				
	Witness	0.2	0.4	0.6	0.8
	Means of radical length (cm)				
<i>Avena fatua</i>	11.0a	10.2b	7.6c	7.2c	4.9e
<i>Diptotaxis tenuifolia</i>	3.7a	3.3a	0.7b	00c	00c
<i>Sinapis arvensis</i>	1.9a	1.1b	1.1b	0.7c	0.6c
<i>Ammi visnaga</i>	3.5a	2.6b	1.1c	1.2c	00d
<i>Bromus madritensis</i>	3.0a	1.0b	1.0b	0.7bc	0.1d
<i>Hordeum murinum</i>	5.6a	5.0b	4.0b	3.6b	2.4c
<i>Mantisalea salmentica</i>	4.0a	1.1b	0.6c	0.5c	00d
<i>Scorzonera laciniata</i>	3.1a	2.9a	2.7a	2.7a	0.7b
<i>Silybum marianum</i>	6.7a	6.0ab	5.1c	2.7d	00e
MBB	7.5a	7.9a	5.9b	6.0b	7.4a
Waha	7.0a	4.7b	5.1b	2.2c	0.6d

The means followed by the same letter in the same row are not significantly different according to the Fischer LSD test at P<0.05.

Table 4. The effect of different concentrations of essential oil on shoot length of weed species and wheat variety

Weed and wheat variety	Essential oil concentration (µl)				
	Witness	0.2	0.4	0.6	0.8
	Means of shoot length (cm)				
<i>Avena fatua</i>	13.0a	13.8a	10.8b	9.1c	7.8d
<i>Diptotaxis tenuifolia</i>	4.8a	4.2a	1.3b	00c	00c

<i>Sinapis arvensis</i>	2.4a	1.7b	1.7b	1.3b	1.5b
<i>Ammi visnaga</i>	5.0a	3.4c	2.5d	4.1b	00c
<i>Bromus madritensis</i>	6.0a	2.5b	1.3c	0.5d	0.3d
<i>Hordeum murinum</i>	6.5a	6.1b	5.4c	4.8c	3.6d
<i>Mantisalea salmentica</i>	4.7a	2.1b	0.7c	0.6c	00d
<i>Scorzonera laciniata</i>	6.2a	6.1b	5.7ab	5.4b	2.1c
<i>Silybum marianum</i>	5.6a	4.2b	4.0b	2.1c	00d
MBB	11.2a	12.0a	10.6b	9.8c	8.5d
Waha	11.0a	7.6b	7.3b	3.1c	0.9d

The means followed by the same letter in the same row are not significantly different according to the Fischer LSD test at $P < 0.05$.

Germination inhibition effect of essential oil

The resultat obtained shows that the inhibition percentages of germination and seedling growth vary according to the weed species. For following species *Silybum marianum*, *Scorzonera laciniata*, *Mantisalea salmentica*, *Bromus madritensis*, *Ammi visnaga* and *Diplotaxis tenuifolia*, the values of the two parameters studied increase as oil concentrations increase and achieve very high levels of inhibitions (Figures 1, 2 and 3).

It seems that *Mantisalea salmentica* is the most sensitive species, at 0.2 μl , IPG is 55% (Figure 1), ILR is 73% (Figure 2) and ILPA is 55% (Figure 3). Very low to low inhibition observed in *Hordeum murinum* and *Sinapis arvensis* (Figure 1). While the inhibition of seed germination of *Avena fatua* decreases with increasing oil concentrations, it is stimulation considers that IPG is -3% for the dose 0.8 μl (Figure 1). The positive effects of plants on others according to Rice [24] are also allelopathic effects.

For durum wheat varieties, we find that germination of wheat seeds and seedling growth are affected and the Waha variety is the most inhibited than MBB. Abdelgaleil and Hashinaga [25] found that leaf extracts of *Magnolia grandiflora* L. reduce germination of wheat seeds.

These results confirm what has been reported by Draissac [26], the effects of allelopathic substances on the germination or growth of plants are both inhibitory actions that stimulating actions. As well as the effective doses are mostly very weak and there are large variations (inhibition or stimulation) depending on the dose.

The inhibitory effect of our essential oil expresses the allelopathic potency of *A. herba-alba* thanks to its chemical composition rich in camphor (ketone) and eucalyptol (etheroxide). Essential oils with ketones or ether oxides appear to be the most active herbicides in seed germination inhibition tests [27].

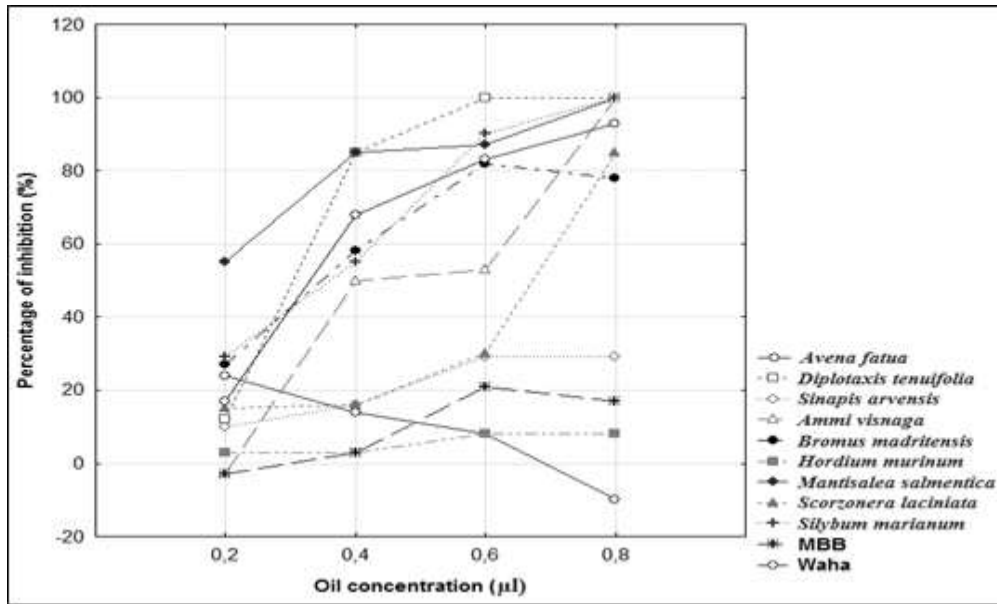


Figure 1. The effect of different concentration of the essential oil from *A. herba-alba* on germination inhibition percentage of the different weed species and wheat variety

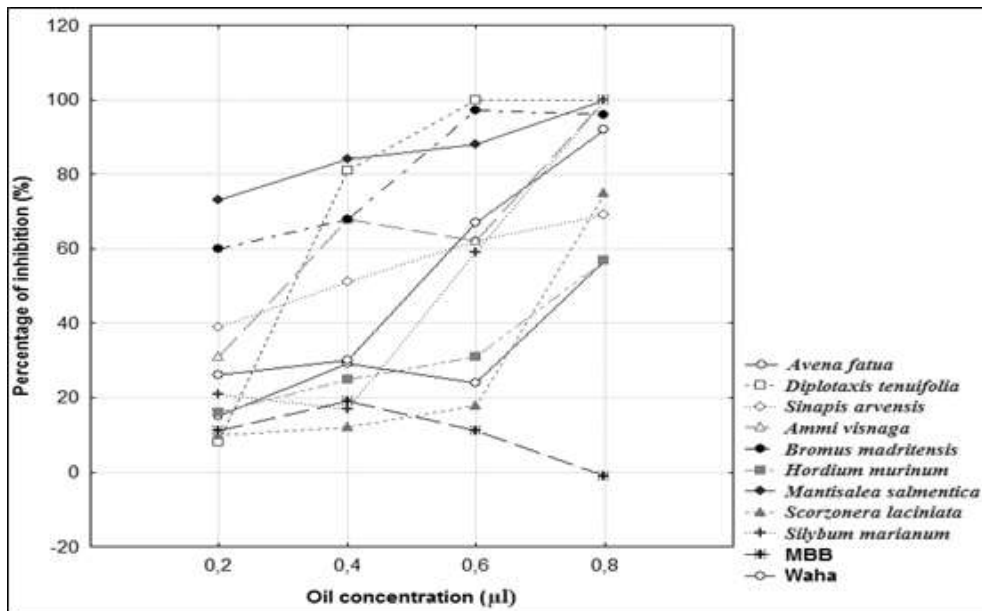


Figure 2. The effect of different concentration of the essential oil from *A. herba-alba* on radical length inhibition percentage of the different weed species and wheat variety

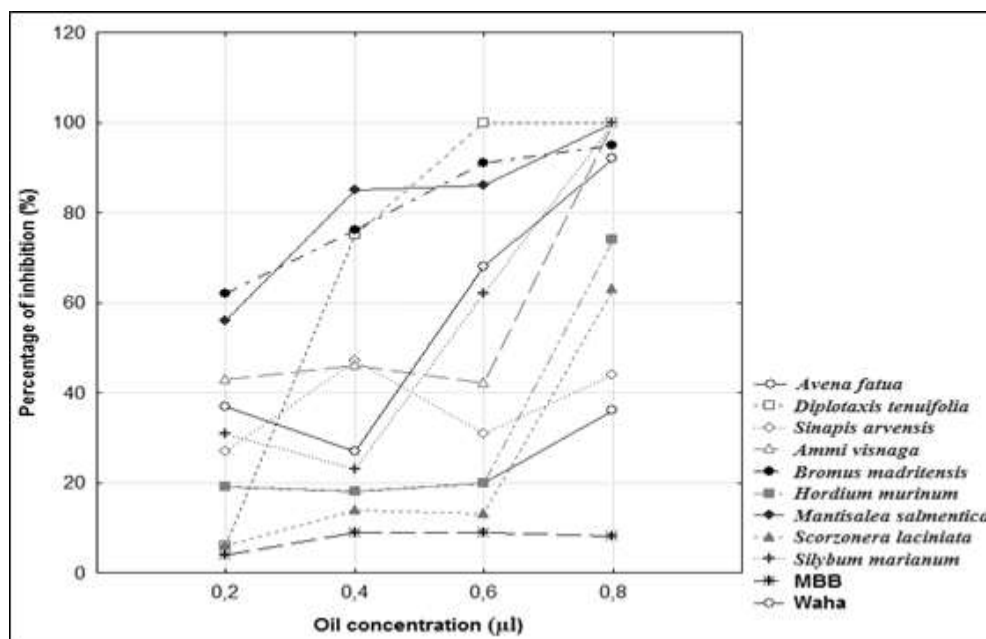


Figure 3. The effect of different concentration of the essential oil from *A. herba-alba* on shoot length inhibition percentage of the different weed species and wheat variety

Conclusion

The present work is focused on the search for natural substances that by their allelopathic effect could be used in the fight against crop weeds. The essential oil obtained is pale yellow with a yield of 1.19%, it includes 36 volatile compounds, and the most present are camphor (28.58%), cis-thujone (22.03%), eucalyptol (11.65%) and transthiol (7.03%). Germination of the majority of weeds is significantly inhibited. The highest inhibition is noted for *Mantisalea salmentica* at a concentration of 0.2 µl. Seed germination of *Sinapis arvensis* and *Hordeum murinum* is substantially inhibited, whereas that of *Avena fatua* is stimulated.

The allelopathic effect demonstrated in this work for the essential oil from *A. herba-alba* is promising and qualify as a bio-herbicide, which will successfully contribute to the management of the weed flora of crops.

References

- [1]. Sarić-Krsmanović, M.; Umiljendić, J.G.; Radivojevi, L.; Šantrić, L.; Potočnik, I.; Đurović-Pejčev, R., Bio-herbicidal effects of five essential oils on germination and early seedling growth of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.), *Journal of Environmental Science and Health*, **2019**, Part B, p. 5.
- [2]. Benferhat, S., Etude des *Hymenoptères parasitoïdes* associés à la faune aphidienne en milieu naturel et cultivé dans la région de Batna, *Batna University*, **2010**, p. 42.

- [3]. Dessaint, F.; Chadoeuf, R.; Barralis, G., Diversité des communautés de mauvaises herbes des cultures annuelles de cote d'or (France). *Biotechnol. Agron.*, **2001**.
- [4]. Atak, M.; Mavi, K.; Uremis, I., Bio-Herbicidal Effects of Oregano and Rosemary Essential Oils on Germination and Seedling Growth of Bread Wheat Cultivars and Weeds. *Romanian Biotechnological Letters*. **2016**, *21*, 11149-11159.
- [5]. Grul'ová, D.; Pl'uchtová, M.; Fejér, J.; De Martino, L.; Caputo, L.; Sedlák, V.; De Feo, V., Influence of six essential oils on invasive *Solidago canadensis* L. seed germination. *Natural Product Research*, **2019**, p. 3.
- [6]. Pinto, A. P. R.; Seibert, J. B.; Dos Santos, O. D. H.; Filho, S. A.V.; Do Nascimento, A. M., Chemical constituents and allelopathic activity of the essential oil from leaves of *Eremanthus erythropappus*. *Australian Journal of Botany*. **2018**, *66*, 601-608.
- [7]. Sumalan, R. M.; Alexa, E.; Popescu, I.; Negrea, M.; Radulov, I.; Obistioiu, D.; Cocan, I., Exploring Ecological Alternatives for Crop Protection Using *Coriandrum sativum* Essential Oil. *Molecules*, **2019**, *24*, p. 14.
- [8]. Isman, M. B., Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, **2000**, *19*, 603-608.
- [9]. Macías, A. F.; Mejías, F. J. R.; Molinillo, J. M. G., Recent advances in allelopathy for weed control: from knowledge to applications. *Pest management science*, **2019**, *75*, 24136-2436.
- [10]. Mamarot, J.; Rodriguez, A., Mauvaises herbes des cultures. Eds.; ACTA. Paris, France, **2014**, p. 569.
- [11]. Duke, S. O.; Dayan, F.O.; Rimando, A. M.; Schrader, K. K.; Alitta, G.; Oliva, A.; Romagni, J. G., Chemicals from nature for weed management. *Weed Science*, **2000**.
- [12]. Ricklefs, R. E.; Miller, G. L., Écologie. *De Boeck Université*, Bruxelles, **2005**, p. 427.
- [13]. Soltys, D.; Krasuska, U.; Bogatek, R.; Gniazdowska, A., Allelochemicals as Bioherbicides; present and perspectives. *Intech Open*, **2013**, *20*, 517- 542.
- [14]. Ben Haj Jilani, I.; Chebil, S.; Khiari, R.; Melkis, I.; Limam Bensaad, S.; Daoud-Bouattour, A.; Gammer-Ghrzabi, Z., Allelopathic potential of some essential oils vis-à-vis three noxious weed species invading cereals. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, **2014**, *3*, 77-97.
- [15]. Hachani, C.; Abassi, M.; Lazhar, C. S.; Lamhamedi, M.; Béjaoui, Z., Allelopathic effects of leafates of *Casuarina glauca* Sieb. ex Spreng. and *Populus nigra* L. on germination and seedling growth of *Triticum durum* Desf. under laboratory conditions. *Agroforest Syst.*, **2018**, p. 10.
- [16]. Ghanemi, M.; Satrani, B.; Aafi, A.; Isamili, MR.H.; Houti, H.; El Monfalouti, H.; Benchakroun, KH.; Aberchane, M.; Harki, L.; Boukir, A.; Chaouch, A.; Charrouf Z., Effet de la date de récolte sur le rendement, la composition chimique et la bio activité des huiles essentielles de l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) de la région de Guerçif (Maroc oriental). *Phytothérapie*. **2010**, *8*, 295-301.

- [17]. Bezza, L.; Mannarino, A.; Fattarsi, K.; Mikail, C.; Abou, L.; Hadji-Minaglou, F.; Kaloustian J., Chemical composition of the essential oil of *Artemisia herba-alba* issued from the district of Biskra (Algeria). *Phytothérapie*, **2010**, 8, 277-281.
- [18]. Bouzidi, N., Etude des activités biologiques de l'huile essentielle de l'armoise blanche *Artemisia herba alba* Asso. *Mascara University*, **2016**, p. 462.
- [19]. Akrouf, A., Etude des huiles essentielles de quelques plantes pastorales de la région de Matmata (Tunisie). *CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes*, **2004**, 62, 289-292.
- [20]. Moumni, M.; El wathik, L.; Kasimi, A.; Homrani Bakali, A., Induction du chémotype à Davanone de l'huile essentielle d'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) par domestication a Errachidia (Sud-Est du Maroc). *Science Lib. Eds. Mersenne*, **2013**, 5, 2111-4706.
- [21]. Al-wahaibi, L.; Mahmood, A.; Khan, M.; Alkhathlan, H. Z., Comparative study on the essential oils of *Artemisia judaica* and *A. herba-alba* from Saudi Arabia. *Arabian Journal of Chemistry, King Saud University*, **2018**.
- [22]. Zouari, S.; Zouari, N.; Fakhfakh, N.; Bougatef, A.; Aydi, M. A.; Neffatil, M., Chemical composition and biological activities of a new essential oil chémotype of Tunisian *Artemisia herba alba* Asso. *Journal of Medicinal Plants Research*, **2010**, 4, 871-880.
- [23]. Belhattab, R.; Amor, L.; Barroso, JG.; Pedro, LG.; Figueiredo, AC., Essential oil from *Artemisia herba-alba* Asso. grown wild in Algeria: Variability assessment and comparison with an updated literature survey. *Arabian Journal of Chemistry*, **2012**.
- [24]. Rice, E. L., Allelopathy. Eds. Academic Press, New York, **1984**, p. 422.
- [25]. Abdelgaleil, S. A. M.; Hashinaga, F., Allelopathic potential of two sesquiterpene lactones from *Magnolia grandiflora* L. *Biochemical Systematics and Ecology*, **2007**, 11, 737-742.
- [26]. Deraissac, M.; Marnotte, P.; Alphonse, S., Interactions entre plantes de couverture, mauvaises herbes et cultures : quelle est l'importance de l'allélopathie? *Agriculture et Développement*, **1998**, 17, 40-49.
- [27]. Furet, A.; Bellenot, D., Les huiles essentielles dans la protection des cultures. *Iteipmai.*, **2013**, 138-151.
- [28]. Masada, Y., Analysis of essential oils by Gas Chromatography and Mass Spectrometry. *J. Wiley & Sons, Inc.* New York, **1976**.
- [29]. NIST, Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, Vers. 2.0. fiveash data, USA. **2000**.
- [30]. Adams, R. P., Identification of essential oils components by Gas Chromatography Mass spectroscopy, *Allured Publishing Corporation Carol Stream, Illinois USA*, **2007**.
- [31]. Quezel, P.; Santa, S., Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 Vol. *CNRS*, Paris, **1962-1963**, p. 1170.

- [32]. Dhima, K. V.; Vasilakoglou, I. B.; Eleftherohorinos, I. G.; Lithourgidis, A. S., Allelopathic potential of winter cereal cover crop mulches on grass weed suppression and sugarbeet development. *Crop Science*, **2006**, *46*, 1682-1691.
- [33]. Chung, I. M.; Kim, K. H.; Ahn, J. K.; Lee, S. B.; Kim, S. H.; Hahn S. J., Allelopathy: Comparison of Allelopathic Potential of Rice Leaves, Straw and Hull Extracts on Barnyardgrass. *Agronomy Journal*, **2003**, *5*, 1063-1070.

إن العديد من الأنواع النباتية تقوم بإنتاج جزيئات قادرة على تثبيط إنباتش ونمو النباتات المجاورة لها. تسمى هذه الظاهرة بالتضاد الحيوي (allélopathie)، وهي تقدم افلاق مثيرة للاهتمام في التحكم بالأعشاب الضارة للمحاصيل. بهدف البحث على المنتجات الطبيعية ذات الأصل النباتي والتي قد يكون لها تأثير مبيدات الأعشاب، اخترنا ثلاث أنواع نباتية (*Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. و *Eucalyptus globulus* Labill.) لتقييم إمكانات التضاد الحيوي لزيتونها الأساسية على إنباتش ونمو نبيتات بعض أنواع الأعشاب الضارة للمحاصيل. تم استخلاص الزيوت الأساسية عن طريق التقطير المائي للأجزاء الهوائية لـ *A. herba-alba* و *P. harmala* و أوراق *E. globulus*. تم تجريب المستخلصات الزيتية لنباتي الشيح و الأوكالبتوس مختلفة التراكيز (0.2 مكرو لتر، 0.4 مكرو لتر، 0.6 مكرو لتر و 0.8 مكرو لتر) على 9 أنواع من الأعشاب الضارة وصنفين من القمح الصلب (Waha و Mbb) مخبريا. إن عائدات الزيوت المتحصل عليها هي 0.01%، 1.19% و 1.95% بالنسبة لنبات الحرمل، الشيح و الأوكالبتوس على التوالي. اظهر التركيب الكيميائي للزيتين الأساسيين لـ *A. herba-alba* و *E. globulus* هيمنة أحاديات التربين المؤكسجة والتي تمثل 83% و 40.52% على التوالي. تثبط الزيوت الأساسية المختبرة وبشدة إنباتش البذور ونمو النبيتات (LPA و LR) لمعظم الأعشاب الضارة وصنفي القمح المدروسة. يزداد التثبيط وفق زيادة تركيز الزيت، وهذه الزيادة ليست مماثلة نسبيا للنوعين. بينت هذه الدراسة ان الزيوت الأساسية المدروسة لديها إمكانات تضاد حيوية مثبطة بالغلة الإهتمام.

كلمات مفتاحية: التضاد الحيوي، الزيوت الأساسية، *Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. *Eucalyptus globulus* Labill., الأعشاب الضارة.

Résumé

Plusieurs espèces végétales produisent des molécules capables d'inhiber la germination et la croissance des plantes avoisinantes. Ce phénomène nommé allélopathie offre des perspectives intéressantes pour la gestion des adventices des cultures. Dans le but de rechercher des produits naturels d'origine végétale qui peuvent avoir une action herbicide, nous avons choisie trois espèces végétales (*Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. et *Eucalyptus globulus* Labill.) pour évaluer le potentiel allélopathique de leurs huiles essentielles sur la germination des graines et le développement des plantules de quelques espèces adventices des cultures. Les huiles essentielles sont extraites par hydrodistillation à partir des parties aériennes d'*A. herba-alba* et *P. harmala* et les feuilles d'*E. globulus*. Les extraits huileux d'Armoise blanche et d'Eucalyptus globuleux de différentes concentrations (0.2µl, 0.4µl, 0.6µl et 0.8µl) sont testés sur neuf espèces adventices et deux variétés de blé dur (Waha et Mbb) dans les conditions de laboratoire. Les rendements des huiles obtenues sont de l'ordre de 0.01%, 1.19% et 1.95% pour l'Harmel, l'Armoise blanche et l'Eucalyptus respectivement. La composition chimique des HE d'*A. herba-alba* et d'*E. globulus* est dominée par les monotèrènes oxygénées qui représentent 83% et 40.52% respectivement. Les HE testées inhibent fortement la germination des graines et la croissance des plantules (LPA et LR) de la majorité des adventices et variétés de blé étudiées. L'inhibition augmente lorsque la concentration de l'huile augmente, cette augmentation n'est pas comparativement similaire pour les deux espèces. Cette étude a montré que les HE étudiées possèdent un potentiel allélopathique inhibiteur intéressant.

Mots clés : Allélopathie, Huiles essentielles, *Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. *Eucalyptus globulus* Labill., Adventices.

Abstract

Several plant species produce molecules able of inhibiting the germination and growth of neighboring plants. This phenomenon called allelopathy, offers interesting prospects for the management of crop weeds. In the order to search for natural products of plant origin which may have an herbicidal action, we have chosen three plant species (*Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. and *Eucalyptus globulus* Labill.) to assess the allelopathic potential of their essential oils on seed germination and seedling growth of some crop weed species. Essential oils are extracted by hydrdistillation from the aerial parts of *A. herba-alba* and *P. harmala* and the leaves of *E. globulus*. The oily extractions of White worm wood and Eucalyptus of different concentrations (0.2µl, 0.4µl, 0.6µl and 0.8µl) are tested on nine weed spices and two varieties of durum wheat (Waha and Mbb) under laboratory conditions. The yields of the oils obtained are of the order to 0.01%, 1.19% and 1.95% for Harmal, White worm wood and Eucalyptus respectively. The chemical composition of essential oils of *A. herba-alba* and *E. globulus* is dominated by oxygenated monoterpenes which represent 83% and 40.52% respectively. The tested essential oils strongly inhibit seed germination and seedling growth (LPA and LR) of the majority of the weeds and wheat varieties studied. The inhibition increases as the oil concentration increases, this increase is not comparatively similar for the two species. This study showed that the studied essential oils have an interesting allelopathic inhibitory potential.

Keywords: Allelopathy, Essential oils, *Peganum harmala* L., *Artemisia herba-alba* Asso. *Eucalyptus globulus* Labill., Weeds.