



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور - الجلفة

Université Ziane Achour – Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biotechnologie Végétale

Thème

Contribution à l'étude de l'effet allélopathique de
Peganum harmala sur quelques paramètres de
germination et poste germination du blé dur, de l'orge

Présenté par : Mlle. MOUISSI Zohra

Soutenu le : 4/10/2023

Devant le jury composé de :

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| – Président : Mme. Zaoui Aicha | MAA. Univ. de Djelfa |
| – Promoteur : M. Bougoutaia Youcef | MCA. Univ. de Djelfa |
| – Co-Promoteur : Melle Aouache Majda | Doct. Univ. de Ouargla |
| – Examineur : Mme. Oualha Dalila | MAA. Univ. de Djelfa |

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mon respect à mon encadrant, Monsieur Youcef Bougoutaia, pour son soutien, ses conseils avisés, sa bienveillance et ses efforts.

Nous tenons aussi à remercier Melle AOUACHE Majda d'être notre Co promoteur pendant ce travail et qui nous a donné beaucoup de son temps.

Je dois également exprimer ma gratitude au président du jury ; Mme. Zaoui Aicha pour avoir accepté de présider ce jury.

Je remercie également Mme OUALHA Dalila d'avoir accepté avec beaucoup d'élan d'être l'examineur de ce travail.

J'adresse mes plus vifs remerciements à tous nos enseignants de l'université. Ziane Achour de Djelfa pour leurs précieuses connaissances fournis au quotidien.

Zahra

SOMMAIR

Liste des abréviations
Liste des figures.....
Liste des tableaux.....
Introduction.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique.....	3
1 Synthèse bibliographique.....	4
1.1 Présentation de l'espèce : <i>Peganum harmala</i>	4
1.1.1 Classification botanique.....	4
1.1.2 Nomenclature	4
1.1.3 Description de l'espèce	4
1.1.4 Aire géographique.....	6
1.1.5 Habitat.....	6
1.1.6 Intérêts.....	7
1.2 Blé dur	7
1.2.1 Classification botanique.....	7
1.2.2 Caractère morphologique.....	8
1.2.3 Cycle Végétatif	10
1.2.4 Exigences de blé dur	12
1.3 Orge.....	13
1.3.1 Classification botanique.....	13
1.3.2 Types d'Orge.....	14

1.3.3	Caractère morphologique.....	14
1.3.4	Cycle Végétatif	15
1.3.5	Exigences de l'orge.....	17
1.4	Le genre <i>Centaurea</i>	18
	Description botanique	18
1.5	Plantes adventices	19
1.5.1	Classification des plantes adventices	19
1.5.2	Effets des plantes adventices sur le blé dur et de l'orge	20
1.6	Phénomène d'allélopathie	22
1.6.1	Définition	22
1.6.2	Composés allélochimiques.....	22
1.6.3	Nature des composés allélochimiques	22
1.6.4	Voies de libération de substances allélochimiques	22
	Chapitre II : Matériel et Méthodes	24
2	Matériel et Méthodes	25
	Objectif 25	
2.1	Matériels.....	25
2.1.1	Matériel végétal	25
2.1.2	Matériel utilisé	26
2.2	Méthodes	26
2.2.1	Le séchage.....	26
2.2.2	Broyage.....	27

2.2.3	Préparation des extraits	28
2.2.4	Agitation	29
2.2.5	Décantation et Filtration	29
2.2.6	Les tests de germination et post germination.....	29
2.2.7	Exploitation des données	32
2.2.8	Analyses statistiques	34
Chapitre III : Résultats et discussion		35
3	Résultats et discussion	36
3.1	Effet des extrais aqueux de <i>P. harmala</i> sur le taux de germination (TG) des trois espèces 36	
3.1.1	Analyses statistiques des taux de germination (TG).....	37
3.1.2	Effet inhibiteur de <i>P. harmala</i> sur le taux de germination (TG) du blé dur, de l'orge nue et de la centaurée	42
3.2	Effet de l'extrait aqueux de <i>P. harmala</i> sur la longueur de la partie aérienne (LPA) des espèces étudiées	43
3.2.1	Analyses statistiques des longueurs de la partie aérienne (LPA).....	44
3.2.2	Effet inhibiteur de <i>P. harmala</i> sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge et de la mauvaise herbe <i>Centaurea sp</i>	49
3.2.3	Temps moyen de germination (TMG) des trois espèces étudiées sous l'effets de l'extrait aqueux de <i>P. harmala</i>	50
3.2.4	Effet de <i>P. harmala</i> sur la cinétique de germination (CG) des trois espèces étudiées 50	
Discussion		54
Conclusion		57
Résumé.....		59

<i>Abstract</i>	60
ملخص.....	61
Références bibliographiques	62
Annexe.....	69

Liste des abréviations

- % I: pourcentage d'inhibition
- °C : Degré Celsius
- ANOVA : Analyse de variance à deux facteurs
- C: Concentration
- CG : Cinétique de germination
- DDL : degré de liberté
- Di : période de germination en jours
- F : Fisher
- g : gramme
- IG: Inhibition de la germination
- ILPA: Inhibition de la longueur de la partie aérienne
- LPA: longueur de la partie aérienne
- mM : Milimole
- mm : Millimètre
- Ni : Maximum des graines germées
- Nt : Nombre total de graines
- P : probabilité
- *sp*: espèces
- TG : Taux final de graines germées
- TMG : Temps moyen de germination
- W: Wilaya

Liste des figures

Figure 01 : Arbuste de *Peganum harmala* L

Figure 02 : (A) Harmala (*Peganum harmala*) plante portant des fleurs et des fruits; (B) fleur ; (C) fruits ; (D) graines.

Figure 03 : Grains de blé

Figure 04 : Cycle de développement du blé

Figure 05 : Quelques espèces de genre *Centaurea* (Asteraceae)

Figure 06 : Voies de libération des molécules allélopathiques

Figure 7. Feuilles séchées de *Peganum harmala*

Figure 8. Broyat de *Peganum harmala*

Figure 9A. Solutions préparées

Figure 9B. Préparation des extrais aqueux du *P. harmala*

Figure10. Mises en germination des graines dans boites

Figure 11. Boites de pétri préparées

Figure 12. Boites de pétri dans un incubateur

Figure 13. Effet des extrais aqueux de *Peganum harmala* sur le taux de germination du blé dur de l'orge et de la centaurée

Figure 14. Comparaisons des effets des différents traitements de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination du blé dur.

Figure 15. Comparaisons des effets des différents traitements de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination de l'orge nue.

Figure 16. Comparaisons des effets des différents traitements de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination de *Centaurea sp.*

Figure 17. Effet inhibiteur des différentes concentrations de l'extrait de *P. harmala* sur le taux de germination (TG) du blé dur, de l'orge et de la centaurée

Figure 18. Effet des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge nue et de la centaurée

Figure 19. Comparaison de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur les longueurs de la partie aérienne (LPA) du blé dur. Les barres similaires avec des lettres différentes sont significativement différentes les unes des autres (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Figure 20. Comparaison de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur les longueurs de la partie aérienne (LPA) de l'orge. Les barres similaires avec des lettres différentes sont significativement différentes les unes des autres (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Figure 21. Comparaison de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur les longueurs de la partie aérienne (LPA) de la centaurée. Les barres similaires avec des lettres différentes sont significativement différentes les unes des autres (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Figure 22. Effet inhibiteur des différentes concentrations de l'extrait de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge et de la centaurée

Figure 23. Temps moyen de germination de blé dur, de l'orge et de la centaurée sous l'effet de différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala*

Figure 24. Effet des extraits aqueux de *P. harmala* sur la cinétique de germination du blé dur

Figure 25. Effet des extraits aqueux de *P. harmala* sur la cinétique de germination de l'orge nue

Figure 26. Effet des extraits aqueux de *P. harmala* sur la cinétique de germination de la mauve
herbe *Centaurea sp.*

Liste des tableaux

Tableau 1. Matériels techniques utilisés

Tableau 2. Tests de normalité de la variable TG dans les trois espèces étudiées sous l'effet des extraits de *P. harmala* (seuil de signification $p < 0,05$)

Tableau 3. ANOVA non paramétrique à un seul facteur de Kruskal-Wallis de l'effet des différents traitements des extraits aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination des trois espèces étudiées (seuil de signification $p < 0,05$)

Tableau 4. Résultats du test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur le taux de germination (TG) de blé dur, de l'orge et de la centaurée

Tableau 5. Test de normalité de la variable taux de germination dans les trois espèces étudiées sous l'effet des extraits de *P. harmala* (seuil de signification $p < 0,05$)

Tableau 6. ANOVA non paramétrique à un seul facteur de Kruskal-Wallis de l'effet des différents traitements des extraits aqueux de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) des trois espèces étudiées (seuil de signification $p < 0,05$)

Tableau 7. Résultats du test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge et de la centaurée

Tableau 8. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur le taux de germination du blé dur (effet significatif à $p < 0,05$)

Tableau 9. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur le taux de germination de l'orge nue (effet significatif à $p < 0,05$)

Tableau 10. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur le taux de germination de *Centaurea sp* (effet significatif à $p < 0,05$)

Tableau 11. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur (effet significatif à $p < 0,05$)

Tableau 12. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) de l'orge nue (effet significatif à $p < 0,05$)

Tableau 13. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Centaurea sp* (effet significatif à $p < 0,05$)

Introduction

Dans le monde entier, d'énormes quantités d'herbicides chimiques sont utilisées pour gérer les mauvaises herbes. Les herbicides synthétiques sont souvent toxiques et causent des problèmes environnementaux (Khanh et al. 2004). De plus, l'utilisation excessive d'herbicides a conduit au développement de biotypes de mauvaises herbes résistants aux herbicides (Batish et al. 2007). Afin de rendre l'agriculture plus sûre et plus rentable, nous avons besoin de stratégies intégrées pour améliorer la gestion des mauvaises herbes et des agents pathogènes. Les substances inhibitrices libérées par les plantes allélopathiques peuvent contrôler les mauvaises herbes de manière durable et réduire les coûts de main-d'œuvre. Un certain nombre de plantes allélopathiques et médicinales ont été démontrées pour contrôler les mauvaises herbes agricoles et pourraient donc être développées comme une alternative pour la gestion des mauvaises herbes (Lin et al., 2004 ; Xuan et al., 2004).

Le genre *Peganum* (famille des Nitrariaceae d'après la classification APG III de 2009) compte environ cinq espèces, réparties principalement en Afrique, au Moyen-Orient, en Asie centrale, en Amérique du Sud, au Mexique et dans le sud des États-Unis (Abbott et al., 2008 ; Zhao et al., 2011). Une seule espèce, à savoir : *Peganum harmala* pousse en Algérie dans les régions arides et semi-arides (Quezel et Santa, 1963). Les graines et la plante entière de *P. harmala* sont utilisées depuis longtemps comme médicament traditionnel en Algérie, au Maroc, en Turquie, en Iran et en Chine pour traiter la toux, les rhumatismes, l'hypertension, le diabète et l'asthme (Bellakhdar et al 1997 ; Duan et al., 1998 ; Baba Aissa, 2000 ; Kartal et al., 2003). Les plantes de ce genre contiennent un grand groupe de métabolites secondaires, notamment des composés phénoliques, des terpènes et des composés contenant de l'azote. Les alcaloïdes, en tant que principaux composants des extraits de plantes du genre, ont été identifiés comme les principes actifs majeurs (Li et al., 2017 ; Bitchagno et al., 2022). Parmi ces composés, les alcaloïdes, principalement les β -carbolines telles que l'harmine, l'harmaline, l'harmalol, l'harmol et la tétrahydroharmine, se sont révélés être les principales substances responsables des activités antimicrobiennes, antidépressives, antinociceptives, analgésiques, antitumorales et vasorelaxantes de *P. harmala* (Sha et al.,2013).

Comme beaucoup d'autres plantes médicinales, *P. harmala* a été supposé posséder des propriétés allélopathiques, ce qui facilite vraisemblablement sa domination dans ses habitats et sa nature envahissante dans le sud des États-Unis (Abbott et al., 2008 ; Sodaieizadeh, et la., 2009).

L'objectif de ce travail est d'évaluer les effets allélopathiques de l'extrait aqueux des feuilles de *P. harmala* en différentes quantités sur les caractéristiques de germination et de croissance de trois espèces ; deux monocotylédones, à savoir le blé dur (*Triticum turgidum* L, var. vitron), l'orge nue (*Hordeum vulgare* var. *nudum*), et une mauvaise herbe dicotylédone : *Centaurea sp.*

Les démarches suivies dans ce travail de recherche sont expliquées dans les paragraphes suivants :

- Chapitre I : une synthèse bibliographique qui porte sur des généralités sur les trois espèces étudiées, ainsi qu'une revue bibliographique sur le phénomène de l'allélopathie et les allélochimiques
- Chapitre II : consacré à la partie expérimentale, dans laquelle nous avons exposé le matériel utilisé et méthodes suivies ;
- Chapitre III : consacré aux résultats obtenus et leur discussion ;

En fin, nous terminons par une conclusion qui souligne les résultats importants de ce travail et ouvre des perspectives en vue d'approfondir nos connaissances sur la lutte biologique des mauvaises herbes comme alternative aux herbicides synthétiques.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1 Synthèse bibliographique

1.1 Présentation de l'espèce : *Peganum harmala*

1.1.1 Classification botanique

La position dans la systématique botanique de *Peganum harmala* L. est :

Règne : Plantae

Embranchement : Spermatophytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous classe : Rosidé

Ordre : Sapindales

Famille : Nitrariaceae

Genre : *Péganum*

Espèce : *Peganum harmala* L.

1.1.2 Nomenclature

Les noms communs de *Peganum harmala* : Harmel ; Armel ; L'Harmel (en Algérie) ; Bender tiffin en Tamachek (Touareg) ; Rue sauvage ; Rue verte ; Pégane (en France) ; Harmel Sahari (en Algérie) ; Bizr el harmel (en Egypte) (Trabsa ,2011).

1.1.3 Description de l'espèce

L'harmel est une plante herbacée, vivace, glabre, buissonnante de 30 à 90 cm de hauteur à rhizome épais, à odeur forte, désagréable (Figures 1 et 2) (Trabsa ,2011).

- **Tiges** : dressées très rameuses disparaissent l'hiver.

- **Feuilles** : alternées, découpées en lanières étroites qui restent vertes pendant une partie de la saison sèche.
- **Fleurs** : solitaires sont grandes (25 à 30 mm), d'un blanc jaunâtre vert. Elles sont formées de petites fleurs blanches à l'aisselle des rameaux et d'un fruit globuleux contenant plusieurs graines aplaties.
- **Graines** : d'une couleur marron foncé, sont petites, anguleuses, subtriangulaires et ont un diamètre de 3 à 4 mm x 2mm.



Figure 01 : Arbuste de *Peganum harmala* L (Rezzagui ,2012)

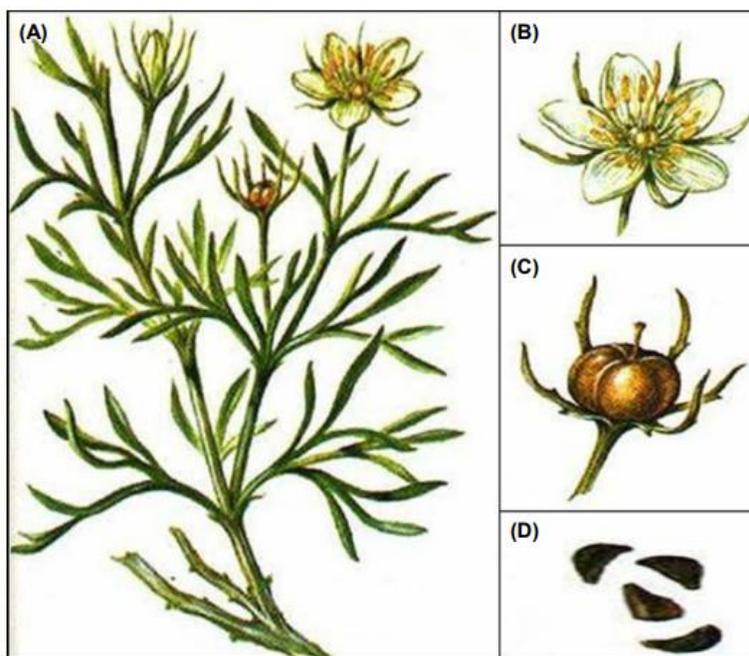


Figure 02 : (A) Harmala (*Peganum harmala*) plante portant des fleurs et des fruits; (B) fleur ; (C) fruits ; (D) graines. (Marwat et Rehman,. 2011).

1.1.4 Aire géographique

Peganum harmala L. est originaire d'Afrique, du Moyen-Orient et d'Asie du Sud. C'est une plante endémique des zones semi- arides. Il pousse en Europe australe et austro-orientale, en Asie mineure et en Afrique du Nord. En Algérie, *Peganum harmala* L. est commune aux hauts plateaux, au Sahara septentrional et méridional et aux montagnes du Sahara central. Il est réputé dans les terrains sableux, les lits d'oued, à l'intérieur des agglomérations, les champs incultes secs, les décombres et les steppes terreuses

1.1.5 Habitat

Peganum harmala L. exige des lieux ouverts, ensoleillés, des endroits secs et sols pierreux, il résiste très bien aux sécheresses. Il se développe lorsque le taux de nitrate dans le sol est important celui qui se trouve, surtout, au niveau des stationnements d'animaux. Donc l'apparition de cette espèce est un indicateur des milieux naturels dégradés et des sols caillouteux. A cet effet, on l'appelle une plante rudérale, c'est-à-dire qu'elle préfère les sols enrichis en déchets azotés

1.1.6 Intérêts

L'Harmel est très utilisé en médecine traditionnelle algérienne pour traiter différents troubles gynécologiques et digestifs (Goel et *al.*, 2009), cutanés : antiseptique et cicatrisant, eczémas et brûlures, conjonctivites purulentes et blépharites, alopecie, infectieux : tétanos néonatal, anthelminthique, antipaludique, oreillons (Monsif et *al.*, 2004).

1.2 Blé dur

1.2.1 Classification botanique

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille. D'après la classification de Bonjean et Picard (1990), il est une monocotylédone classée de la manière suivante :

Embranchement : Spermaphytes

Sous Embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Super ordre : Commeliniflorales

Ordre : Poales

Famille : Graminacées

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum* Desf

1.2.2 Caractère morphologique

1.2.2.1 Appareil végétatif

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Bozzini, 1998). Comme pour le blé tendre, il existe des variétés de blé dur demi-naines.

▪ Système racinaire

Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (ACIA, 2006).

▪ Tige

Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (Clarke et *al.*, 2002). Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale, mais tous ne grènent pas nécessairement (Bozzini, 1988).

▪ Feuilles

Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal (ACIA, 2006).

1.2.2.2 Appareil reproducteur

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures

semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (ACIA , 2006).

▪ **Grain**

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) (Figure 3). Les autres constituants, pondéralement sont mineurs, les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feillet , 2000).



Figure 03 : Grains de blé (Arvalis, 2021).

1.2.3 Cycle Végétatif

Le cycle de croissance de blé se compose de plusieurs phases végétatives au cours desquelles la plante passe d'un stage végétatif à un autre ou développe de nouveaux organes. La phase germination-levée correspond à la mise en place du nombre de plantes installées par unité de surface du sol semée. Le stade végétatif de la levée est noté lorsque 50 % des plantes émergent de terre (Henry et *al.*, 2000).

Le début de la phase tallage se fait à partir de l'apparition de la 4^{ème} feuille. Il est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire, puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle des 2^{ème} et 3^{ème} feuille de la tige principale ou le maître brin (Figure 04).

La phase du tallage herbacée est suivie par le stade montaison qui débute dès que l'épi du maître brin atteint une longueur de 1 cm, mesurée à partir de la base de la couronne ou plateau de tallage. C'est le stade épi 1cm qui fait suite à l'élongation du premier entre nœuds.

La montaison est des phases les plus critiques du développement du blé. Les stress hydrique ou thermique au cours de cette phase affectent le nombre d'épis montants par unité de surface (Fisher et *al.*, 1998). La phase de montaison se termine une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle, ce qui correspond au stage gonflement. Le stade épiaison débute par l'apparition de l'épi, hors de la gaine de la feuille drapeau. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (Bahlouli et *al.*, 2005).

Après la floraison, débute la phase de remplissage du grain au cours de laquelle le feuillage débute sa sénescence. L'azote et les sucres des feuilles, qui sénescent, sont remobilisés vers le grain (Barbottin et *al.*, 2005). L'évolution du poids du grain se fait en trois étapes : la première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée. Cette phase est suivie par la phase de remplissage actif du grain avec les assimilats provenant de la photosynthèse de la feuille étendard et du transfert des hydrates de carbone stockés dans le col de l'épi (Belkherchouch et *al.*, 2009). Cette phase se termine une fois le contenu du grain atteint son maximum, le grain se dessèche progressivement, pour murir (Figure 04).

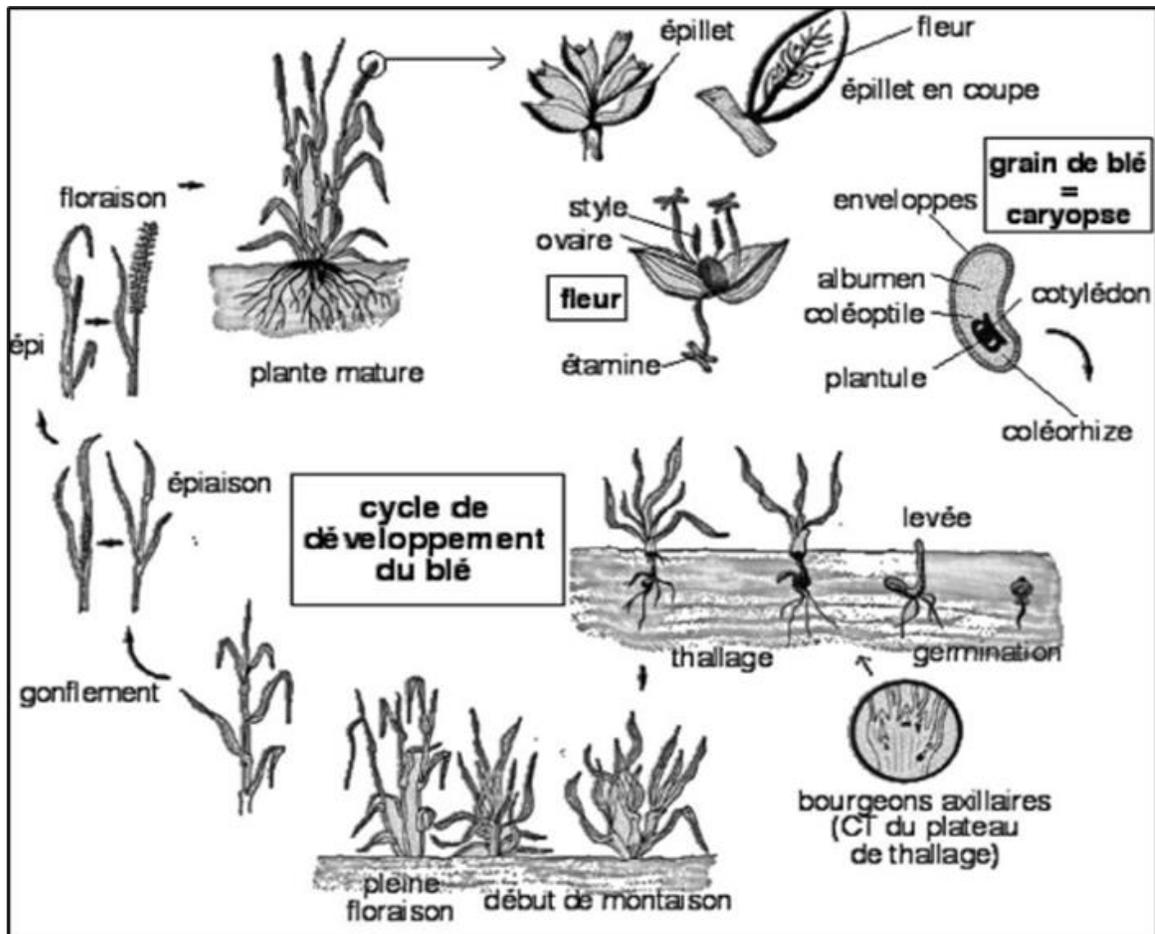


Figure 04 : Cycle de développement du blé (Rice et Smith, 1984)

1.2.4 Exigences de blé dur

1.2.4.1 Exigences édaphiques

Le blé exige un sol bien préparé, meulé et stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver pour éviter l'asphyxie de la culture et permettre une bonne nitrification au printemps. Sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements (Soltner, 1990). Particulièrement un sol de texture argilo-calcaire, argilo-limoneux, argilo-sableux ne présentant pas de risques d'excès d'eau pendant l'hiver.

Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente. Le pH optimal se situe dans une gamme comprise entre 6 à 8. La culture de blé est modérément tolérante à l'alcalinité du sol dont la C.E (Soltner, 1990).

1.2.4.2 Exigences climatiques

▪ **Température**

La majorité des variétés peuvent supporter un gel modéré pendant l'hiver si la plante est suffisamment développée. Par contre le blé ne supporte pas les fortes températures et les déficits hydriques en fin de cycle pendant le remplissage du grain. En effet, la température conditionne à tout moment la physiologie du blé. Une température supérieure à 0 °C est exigée pour la germination, cependant l'optimum de croissance se situe entre 20 et 26 °C. Un abaissement de la température pendant l'hiver est nécessaire à certaines variétés dites d'hiver, cette exigence conditionne la montaison et la mise à fleur.

▪ **Eau**

L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante, la germination ne se réalise qu'à partir d'un degré d'imbibition d'eau de 30%. En effet, C'est durant la phase épi 1 cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe entre 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (Loue, 1982). C'est pour ça que le semis est toujours recommandé en culture pluviale .

- **Lumière**

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement. Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le développement des plantes (Soltner, 1990).

- **Fertilisation**

Comme le blé tendre, le blé dur est une culture peu exigeante en potasse mais il est, en revanche, moyennement exigeant en phosphore. De ce point de vue, il a un comportement comparable à une orge d'hiver ou un blé tendre conduit en 2ème paille (ARVALIS, 2021).

1.3 Orge

1.3.1 Classification botanique

La classification de l'orge est la suivante :

Règne :Plantae

Divisio : Magnoliophyta

Classe : Liliopsida

Sous Classe : Commelinidae

Ordre : Poales

Famille : Poaceae

Sous famille : Hordeoideae

Tribu : Hordeae

Sous Tribu : Hordeinae

Genre : Hordeum

Espèce : *Hordeum vulgare L.*

1.3.2 Types d'Orge

On distingue, selon les grains d'orge :

- **À grains vêtus :** S'entend des variétés d'orge dont les grains sont toujours attachés à la glume extérieure après la moisson. Les variétés d'orge à grains vêtus peuvent compter deux ou six rangs (Site 1).
- **À grains nus :** S'entend des variétés d'orge dont les grains ne sont pas solidement attachés à la glume extérieure. La glume extérieure des variétés d'orge à grains nus est très lâche, et elle se détache normalement durant la moisson. Les transformateurs désignent souvent ce type d'orge comme de l'orge « nue ». Les variétés d'orge à grains nus peuvent compter deux ou six rangs (Site 1).

Selon le nombre de rangs d'orge :

- **Orge à deux rangs :** L'épi de l'orge à deux rangs porte deux rangées de grains sur sa longueur.
- **Orge à six rangs :** L'épi de l'orge à six rangs porte six rangées de grains sur sa longueur, divisées en deux groupes de trois grains chacun (Site 1).

1.3.3 Caractère morphologique

1.3.3.1 Appareil végétatif

Les caractéristiques morphologiques de l'orge sont les mêmes que celles des herbes. C'est une céréale qui partage de nombreuses caractéristiques avec le blé. Système racine est Superficiel, la plupart des racines sont dans la couche superficielle de 05 cm. Cependant, certaines racines peuvent avoir plus de 15 cm de profondeur.

1.3.3.2 Appareil reproducteur

L'inflorescence de l'orge est un épi constitué d'un axe central auquel est attaché aux épillets. Chaque épillet est composé d'une fleur et de deux glumes. La fleur est entourée de deux lemmes avec un pistil et trois étamines (Agnieszka et *al.*, 2016).

- **Grain**

Chez l'orge, le grain est le caryopse avec des glumes adhérentes. Les particules peuvent tomber glumelle comme dans l'orge nue, ou glumelle directement collée (Soleymani , 2017).

La couche externe du noyau (enveloppe) et de l'ovule peut contenir des pigments spécifiques qui colorent les grains : (jaune, ours, violet, blanc). Les deux composants du grain sont l'embryon (la plantule à l'état dormant) et la protéine formée Réserves alimentaires des semis pendant et après la germination (Stanca et *al.*, 2016).

1.3.4 Cycle Végétatif

1.3.4.1 Période végétative

- **La levée**

Selon Sergio et *al.* (2016), La germination marque le passage de la dormance à une vie active, les graines absorbent 20 à 25% de leur poids en eau. La levée est marquée par l'émergence des coléoptiles et le semis en embryon. D'un point de vue culturel, la durée de cette phase dépend de la date de semis, cette phase dure 8 à 10 jours, pour les variétés précoces, par contre elle dure de 15 à 20 jours pour les variétés tardives.

- **Le tallage**

C'est continué de plusieurs plateaux de talles apicales, probablement à la tige . Parmi les talles qui se sont formées, certaines cessent de croître et se dessèchent, tandis que d'autres continuer à pousser, d'où la différence entre la talle herbacée (TH) et la talle paniculaire (TE). La formation de talles dépend largement de la variété d'orge plantée. Les conditions climatiques, en particulier la température, affectent directement la durée de la phase talle. Le taux de croissance se termine lorsque la quatrième feuille est bien développée. Cependant, le tallage peut se poursuivre tant que les pousses latérales poussent et se développent. Achèvement précoce du stade végétatif, tardif et des températures plutôt douces favorisent l'abandon des talles. Chaque bourgeon auxiliaire produit une tige secondaire. La première talle apparaît sur la quatrième feuille, et chaque nouvelle feuille correspond à l'apparition d'une talle Lorsque la talle atteint le stade trois-

cinq feuilles, elle acquiert une certaine indépendance vis-à-vis de la tige mère et est alimentée directement par ses propres racines (Gabriela. et *al.*, 2004).

Selon Lafarge (2000), le rendement des talles dépend du génotype, du taux de semis, de la disponibilité des éléments minéraux du sol et de l'interception de la lumière. Ces auteurs ont également noté que le nombre de talles stériles était plus élevé lorsque les densités de semis étaient élevées. De plus, le pourcentage de talles fertiles par rapport au nombre total de talles variait selon la densité d'ensemencement. L'orge a une capacité de décharge de talle plus élevée que le blé.

1.3.4.2 Période reproductrice

▪ Montaison

Les entre-nœuds des talles s'allongent rapidement et l'épi sur le dernier nœud commence à se former. Cette étape se termine lorsque le stigmate se différencie, c'est le gonflement de la gaine du drapeau, un signe qui apparaît près de l'oreille. La température et la durée de la lumière ont une grande influence sur le déroulement de cette étape. De plus, la croissance des jeunes talles est perturbée lorsque les apports en eau et en azote sont insuffisants (Shewry et Ullrich, 2014).

1.3.4.3 Période de formation et maturation des grains

▪ Epiaison-floraison

Cette étape commence par l'apparition de l'oreille, à l'extérieur des gaines foliaires de la peau et les épis sans gaine fleurissent généralement 4 à 8 jours après l'épiaison. En effet, quelques jours après la fin de la montaison, les apex commencent à se différencier en contour d'épi. La floraison correspond à l'apparition des anthères. Le nombre d'épillets dépend principalement du cultivar, des paramètres climatiques et des nutriments (Antonio et *al.*, 2014).

▪ Formation des graines et maturation

Lorsque le grain commence à gonfler, la croissance des talles s'arrête et les réserves synthétisées dans les feuilles migrent dans le grain. La maturation correspond à l'accumulation de stocks (amidon et matières protéiques) dans le grain et à sa perte d'humidité. En plus les feuilles, l'épi

et la tige contribuent également au remplissage du grain pour corriger le déséquilibre qui peut se produire lorsque la phase de remplissage rapide du grain n'a pas encore commencé et que la croissance végétative se poursuit pendant cette période (Flaten et *al.*, 2015).

- **La maturité complète**

La teneur en humidité atteint environ 20% ; le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons (Savin et *al.*, 2015).

1.3.5 Exigences de l'orge

1.3.5.1 Exigences édaphiques

L'orge peut végéter dans des sols calcaires alluvial, limoneux, ayant un pH de 8,1, une teneur de 0,38 de carbone organique, et où N, P et K sont disponibles (185,0 kg ha⁻¹, 15,25 kg ha⁻¹ et 265,0 kg ha⁻¹ respectivement) (Sriman et *al.*, 2018).

1.3.5.2 Exigences climatiques

- **Température**

La température joue un rôle primordial pour la germination des graines d'orge. La température optimale de germination se situe entre 12°C et 25°C, mais elle peut avoir apparaît entre 4 et 37°C en présence d'humidité dans le sol. La vitesse de germination dépend de la somme des températures. Ainsi, si la température moyenne, après le semis, est de 7°C, la semence germe après 5 jours (en présence d'humidité dans le sol alors qu'elle nécessite 3,5 jours si la température moyenne est de 10°C

- **Eau**

La production d'orge consomme généralement moins d'eau par gramme de matière sèche par rapport aux autres céréales. Le rendement augmente lorsque la consommation d'eau atteint 350 mm, puis le rendement déclin dû à l'excès d'eau (Hakimi, 1993).

▪ **Lumière**

La croissance des plants d'orge est généralement favorisée par le rayonnement solaire. En fait, une forte énergie lumineuse ou un rayonnement peut améliorer la photosynthèse, tandis que les basses températures ralentissent le développement des plantes, prolongeant ainsi chaque étape du cycle évolutif de la plante (Simon et *al.*, 1989).

1.4 Le genre *Centaurea*

Le genre *Centaurea* (tribu Cynareae) de la famille des astéracées est l'un des genres les plus répandus dans le monde, il compte environ 700 espèces (Trease et Evans, 1983). En Algérie, il est représenté par 45 espèces dont 7 localisées au sud (Harborne et Turner, 1986).

Description botanique

Les centaurées sont des plantes herbacées annuelles, bisannuelles ou vivaces, à feuilles alternes. Comme pour toutes les composées, les fleurs, ou fleurons, sont disposées en capitule, entourées d'un involucre de bractées. Dans le cas des centaurées, les fleurs sont toutes tubulées, celles de la périphérie (souvent stériles) s'ouvrant largement en cinq lobes. Leur couleur varie le plus souvent entre le rose, le pourpre et le violet, mais il existe aussi quelques espèces à fleurs jaunes. L'involucre est composé de bractées inégales sur plusieurs rangs, à la manière des artichauts. Ces bractées peuvent être ciliées (cas le plus fréquent) ou épineuses. Leur observation est essentielle pour déterminer les espèces. Les fruits sont des akènes portant une aigrette assez courte (Quezel et Santa, 1963). Dans la nouvelle flore d'Algérie, Quezel et Santa ont reporté et décrit 45 espèces du genre *Centaurea* sur le sol Algérien. La figure 05 représente quelques espèces du genre *Centaurea*.



Figure 05 : Quelques espèces de genre *Centaurea* (*Asteraceae*) (Bahri et Boukalkoul ,2020)

1.5 Plantes adventices

Selon Godinho (1984), une mauvaise herbe est toute plante qui pousse là où sa présence est indésirable.

En agronomie, une « adventice » est une plante introduite spontanément ou involontairement par l'homme dans les biotopes cultivés. Ce sont des plantes qui se propage naturellement (sans l'intervention de l'homme) dans des habitat naturel ou semi naturel (Melakhessou et *al.*, 2020).

1.5.1 Classification des plantes adventices

On peut classer les plantes adventices en trois grandes catégories selon leur mode de vie : annuelles, bisannuelles et vivaces (Halli et *al.*, 1996).

- **Plantes annuelles :** Ce sont des espèces qui accomplissent leur cycle au cours d'une année. Elles poussent très rapidement, fleurissent, produisent des graines en une saison (Safir , 2007).

- **Plantes bisannuelles :** D'après McCully et al. (2004) Les mauvaises herbes bisannuelles germent au printemps, développent leurs organes végétatifs durant la première année et passent l'hiver à l'état de rosette puis fleurissent, produisent des graines et meurent la deuxième année.
- **Vivaces (géophytes) :** Selon Safir (2007) les mauvaises herbes vivaces vivent au moins 03 ans et peuvent vivre longtemps ou presque indéfiniment, ce type d'adventices se propage par ses organes végétatifs (bulbes, rhizomes, stolons...). Les vivaces rampantes, se reproduisent à la fois de façon végétative et à partir de graines (McCully et al., 2004).

1.5.2 Effets des plantes adventices sur le blé dur et de l'orge

En milieu labour, les adventices entrent en compétition avec les cultures céréalières essentiellement pour l'humidité du sol, ce qui cause des pertes considérables en rendements grain et paille. Cette compétition dépend de plusieurs facteurs, en particulier de l'espèce adventice et de sa densité. Aussi, il a été démontré que plus la durée de présence des adventices est longue, plus les rendements diminuent (Tanji et El-Mejahed, 2004).

Dans une culture annuelle, la nuisibilité des plantes adventices est due en premier lieu aux phénomènes de concurrence qui se produisent traduisant ainsi une perte, soit de la quantité, soit de la qualité du produit récolté. Cette nuisibilité est extrêmement variable, elle n'est pas toujours directement perceptible ni aisément appréciable (Fenni, 1991). Les plantes adventices nuisent directement ou indirectement aux plantes cultivées (Jussiaux et Pequignot, 1962).

Nuisibilité directe : Selon Longchamp (1977), la nuisibilité directe des mauvaises herbes apparaît lorsque l'un des facteurs du milieu est limitant et devient l'objet de compétition et de concurrence. Parmi les interactions entre les plantes adventices et les plantes cultivées, ce sont surtout les phénomènes de concurrences englobant les processus de compétition et d'allélopathie qui ont été tenus pour responsables des diminutions de productions. Caussanel (1996) indique que, deux plantes entrent en situation de concurrence lorsque la croissance de l'une d'entre elles, ou des deux sont réduite ou que leur forme est modifiée, comparativement à la forme qu'elles ont isolement. La compétition est la concurrence qui s'établit entre deux ou plusieurs organismes pour une même source d'énergie ou de matière, lorsque la demande est en excès sur les

disponibilités (Loomis et Connor, 1996). La lumière, l'air, l'eau et les éléments minéraux constituent des facteurs objets de compétitions (Longchamp, 1977). Par leur développement végétatif important, les plantes adventices dites étouffantes, comme la Moutarde sauvage, l'Amarante et l'Oxalis, limitent la pénétration de l'air et de la lumière indispensable à la photosynthèse des plantes cultivées (Montegut, 1980). La compétition au niveau racinaire est plus déterminante pour l'eau et les éléments nutritifs qu'au niveau aérien. Il est certain que la compétition pour ces deux éléments nutritifs intervient plutôt dans la vie de la plante que la compétition pour la lumière.

Nuisibilité indirecte : Elle correspond selon Caussanel (1989) à tous les autres effets indésirables qui ne provoquent pas nécessairement une réduction quantitative de la récolte. D'après Longchamp (1977) et Montegut (1980) la nuisibilité indirecte s'exprime par l'altération de la qualité du produit récolté et par conséquent l'abaissement de la valeur commerciale, par l'augmentation du stock grainier du sol et par la difficulté d'exécution et l'augmentation du coût des travaux de récolte. Ainsi les mauvaises herbes sont des plantes toxiques provoquant des maladies, des troubles digestifs et des empoisonnements aussi bien pour l'homme que pour l'animal, elles favorisent le développement des maladies cryptogamiques et hébergent certains insectes nuisibles aux cultures (Machane ,2008).

1.6 Phénomène d'allélopathie

1.6.1 Définition

L'allélopathie est définie par Rice (1984) comme, tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur une autre à travers la production de composés chimiques libérés dans l'environnement.

1.6.2 Composés allélochimiques

Les composés allélochimiques sont des métabolites secondaires non nécessaires à la croissance, produits par des organismes vivants qui ont des effets stimulateurs ou inhibiteurs sur la croissance, la santé, le comportement ou la biologie des populations d'organismes voisines (plantes, insectes, microorganismes, etc.) (Haig, 1998 ; Latif *et al.*, 2016 ; Massalha *et al.*, 2017).

1.6.3 Nature des composés allélochimiques

Les produits naturels reconnus avec un potentiel allélopathique ont été classés dans les groupes suivants : (a) gaz cytotoxiques, (b) acides organiques, (c) acides aromatiques, (d) lactones simples insaturées, (e) coumarines, (f) quinones, (g) flavonoïdes, (h) tanins, (i) alcaloïdes, et (j) trapézoïdes et stéroïdes (Mushtaq et Siddiqui, 2018).

1.6.4 Voies de libération de substances allélochimiques

Les allélochimiques sont libérés dans l'environnement au moyen de quatre processus écologiques : l'exsudation racinaire, la lixiviation par la surface des différentes parties, la volatilisation et/ou par la décomposition des matières végétales (Figure 06).

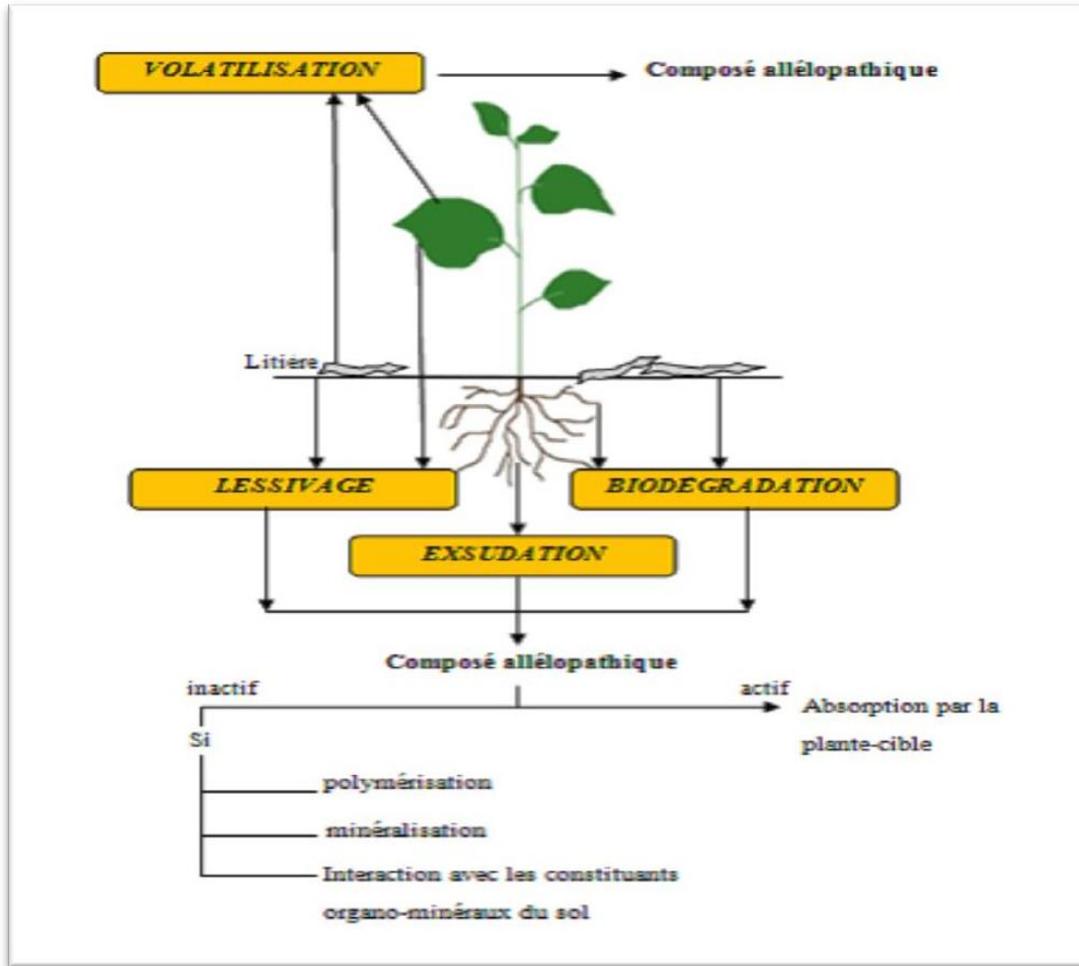


Figure 06 : Voies de libération des molécules allélopathiques (Chiapusio et *al.*, 2002).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

2 Matériel et Méthodes

Objectif

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet allélopathique de l'extrait aqueux du *Peganum harmala* sur la phase germinative et post germinative de blé dur, de l'orge nue et de l'adventice *Centaurea sp* en condition contrôlée.

2.1 Matériels

2.1.1 Matériel végétal

Les échantillons du Harmal ont été récoltés en mois de mai 2022, dans la région de Mouileh, située 20 km à l'Est de la ville de Djelfa. En cette période, la plante a atteint le stade début de floraison, marquée par un feuillage très dense avec des fleurs blanches-jaunâtres aux sommets. Les feuilles avec les fleurs ont été coupées sur une hauteur de 10 à 15 cm du sol, à l'aide d'une paire de ciseaux et conservées dans des sacs tissés en polypropylène durant toute la période de séchage.

Les espèces dont les paramètres de germination et de croissance ont été étudiés sont deux céréales monocotylédones : il s'agit du blé dur (*Triticum turgidum* L. variété : vitron), et de l'orge nue (*Hordeum vulgare* var. *nudum*) et une plante adventice dicotylédone, appelée localement « Neggar », appartenant au genre *Centaurea* dont nous n'avons pas pu identifier le nom de l'espèce. La plante rassemble beaucoup aux espèces *Centaurea aspera* et *Centaurea calcitrapa*, mais selon Guit B., professeur en botanique de l'université de Djelfa. Il s'agit vraisemblablement de *Centaurea trabutii* M. qu'un hybride signalé en Algérie par Quézel et Santa (1963), résultant du croisement de *Centaurea calcitrapa* L. X *Centaurea sphaerocephala* L. Pour pallier à cette incertitude, nous avons utilisé une nomenclature spécifique, qui est le nom du genre suivi de "sp." (pour "species" en anglais). La plante sera désignée dans ce travail par *Centaurea sp*.

Les graines de ces trois espèces ont été fournies par la coopérative des céréales et légumes secs (CCLS) de Blida.

2.1.2 Matériel utilisé

Au laboratoire, nous avons utilisé le matériel mentionné dans le tableau 1.

Tableau 1. Matériels techniques utilisés

Verreries	Appareils	Produits
Boites de Pétri	Balance de précision	Eau distillée
Entonnoir	Broyeur	Eau de javel
Béchers	Etuve	Papier filtre
Eprouvette graduée	Agitateur	
Erlenmeyer en verre		

2.2 Méthodes

2.2.1 Le séchage

Les échantillons du Harmel en été conservés dans les sacs tissés en polypropylène dans une chambre aérée. Lorsque les feuilles sont complètement séchées, nous avons séparé les feuilles de *P. harmala* des tiges. Nous avons éliminé aussi les feuilles qui portent des signes d'attaques par les ravageurs ou les microorganismes (Figure 7).



Figure 7. Feuilles séchées de *Peganum harmala* (Mouissi Z., 2023).

2.2.2 Broyage

Le broyage a été effectué durant le mois d'avril, 2023. Les plantes ont été coupées en petits morceaux pour faciliter leur broyage à l'aide d'un broyeur manuel, puis le broyat de plantes a été conservé dans des boites en plastiques bien lavées et séchées (Figure 8)



Figure 8. Broyat de *Peganum harmala* (Mouissi Z., 2023).

2.2.3 Préparation des extraits

La préparation de tous les extraits aqueux ainsi que les tests de germinations ont été réalisés au niveau du laboratoire du département des sciences agronomiques de l'université de Djelfa.

Les extraits sont préparés à la température ambiante du laboratoire (20 -25°C), deux à trois jours avant les tests de germination, afin d'éviter une éventuelle contamination.

Les concentrations préparées sont (Figures 9A et 9B)

- C0 : 0% (500 ml d'eau distillée (traitement témoin))
- C1 : 1 % (500 ml d'eau distillée + 5 g de poudre fine du Harmal)
- C2 : 3 % (500 ml d'eau distillée + 15 g de poudre fine du Harmal)
- C3 :5 % (500 ml d'eau distillée + 25 g de poudre fine du Harmal)
- C4 :7 % (500 ml d'eau distillée + 35 g de poudre fine du Harmal)



Figure 9A. Préparation des extraits aqueux du *P. harmala* (Mouissi Z., 2023).



Figure 9B. Différentes concentrations préparées de *Peganum harmala* (Mouissi Z., 2023).

2.2.4 Agitation

Nous déposons un barreau magnétique cylindrique dans le bécher et nous le couvrons afin d'éviter l'évaporation. L'agitation est réalisée immédiatement sur un agitateur magnétique. La durée de l'agitation est de 2 heures et la vitesse d'agitation est de 120 tr/min.

2.2.5 Décantation et Filtration

Après 2 heures d'agitation, nous avons laissé le mélange se décanté pendant 16 heures. Nous avons filtré les mélanges sur papier filtre. L'extrait aqueux obtenu est un liquide homogène et sans particules en suspension. Les différents extraits sont conservés au réfrigérateur à une température de +4 °C, dans des bouteilles bien fermées et étiquetées. Nous avons noté sur chaque bouteille la concentration correspondante.

2.2.6 Les tests de germination et post germination

Tous les tests de germination ont été réalisés dans des boîtes de Petri en plastique. Le même type de boîtes est utilisé pour chaque espèce. Des disques en papier filtre standard d'un diamètre égal à celui des boîtes sont placés dans les boîtes de Petri. Chaque boîte est étiquetée et numérotée avec un marqueur permanent. Elles sont ensuite recouvertes.

2.2.6.1 Tests de germination

Les tests de germination ont été conduits sur les trois espèces étudiées, à savoir, le blé dur (*Triticum durum* Desf.); variété Vitron, l'orge nue (*Hordeum vulgare* L.), et l'adventice centaurée (*Centaurea sp.*)

2.2.6.1.1 Stérilisation des graines

Avant l'expérimentation, un tri a été effectué sur le matériel végétal. Nous avons sélectionné uniquement les graines saines et qui ne présentent aucune anomalie. La désinfection des graines a été faite par trempage pendant 10 minutes dans une solution d'hypochlorite de sodium à 8%, puis rinçage (3 fois) à l'eau distillée.

2.2.6.1.2 Mise en germination des graines

Après désinfection, les graines ont été placées dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre et 1,5 cm d'épaisseur contenant deux couches de papier filtre. A l'aide d'une pipette graduée, nous avons ajouté 5 ml d'eau distillée pour le témoin, et 5 ml de chaque concentration des extraits aqueux de *P. harmala*. Pour chaque espèce, nous avons utilisés 20 boîtes de Petri, à raison de quatre boîtes (répétions) par concentration. Dans chaque boîte nous avons mis 25 graines, ce qui est l'équivalent de 100 graines pour chaque traitement. Un intervalle équivalent de 1,5 à 5 fois le diamètre des graines a été laissé entre les graines de façon à empêcher la prolifération des moisissures fongiques, (Figures 10, 11).



Figure10. Mises en germination des graines dans les boîtes de Petri (Mouissi Z., 2023).

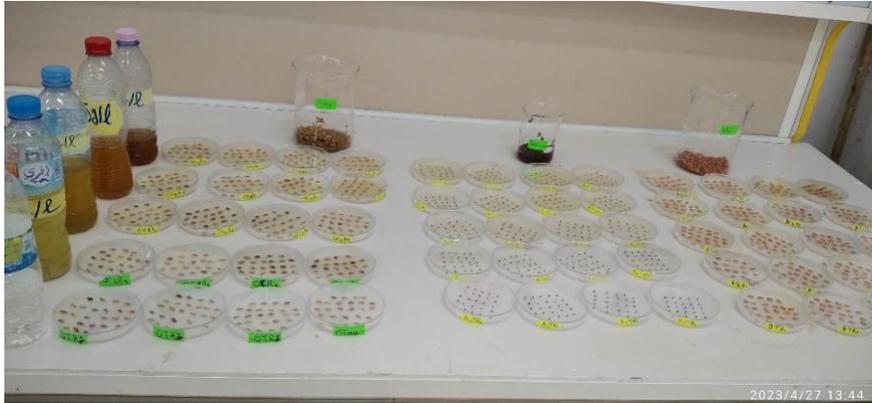


Figure 11. Boîtes de Pétri préparées (Mouissi Z., 2023).

Les boîtes sont recouvertes immédiatement et mises dans l'incubateur réfrigéré, dont la température a été réglée à 22 °C (Figure 12).



Figure 12. Boîtes de Pétri dans un incubateur (Mouissi Z., 2023).

2.2.6.1.3 Suivi de la germination

Le suivi de la germination a été réalisé durant la période d'avril et mai 2023. Une lecture est réalisée tous les trois jours (nombre de graines germées dans chaque boîte pétri). Nous avons

considéré comme graine germée celle qui a développé un coléorhize chez les espèces céréalières ou une radicule chez l'adventice dicotylédones. Un arrosage complémentaire avec de l'eau distillée est effectué chaque fois que nous avons observé un dessèchement sur les boîtes Petri. L'essai prend fin lorsqu'après deux comptages successifs, aucune germination n'est enregistrée. Après 15 jours d'incubation, l'expérience est arrêtée et le taux de germination (TG) de chaque espèce et dans chaque boîte est déterminé.

2.2.6.2 Mesures des longueurs des parties aériennes (LPA)

Après avoir déterminé le nombre des graines qui ont germés dans chaque boîte, nous avons mesuré à l'aide d'un pied à coulisse, les longueurs de la partie aérienne (LPA) en mm, qui correspond pour le blé dur et l'orge nue, à la longueur de coléoptile ou de la première feuille, et pour la centaurée à la longueur de la tigelle ou la tigelle plus les feuilles dicotylédonnaires ou encore la tigelle plus les premières feuilles.

2.2.7 Exploitation des données

Les paramètres suivants ont été étudiés : Le taux de germination (TG), le pourcentage d'inhibition de la germination (%IG), le pourcentage d'inhibition de la longueur de la partie aérienne (%ILPA), la vitesse de germination exprimée par le temps moyen de germination (TMG) et la cinétique de germination, (CG).

2.2.7.1 Taux final de Germination (TG)

Le taux final de graines germées (TG) ou capacité de germination exprimé en %, correspond au pourcentage maximal des graines germées par rapport au total des grains semés, il est estimé par la formule suivante

$$TG = Ni \times 100 / Nt$$

Ni : nombre final de grains germés, *Nt* : nombre total des grains semés

2.2.7.2 Pourcentage d’Inhibition (%I)

Pour comparer les effets allélopathiques de *P. harmala*, sur les trois espèces étudiées, nous avons converti le taux de germination (TG) et les mesures des longueurs des parties aériennes (LPA) en pourcentages d’inhibition. Les conversions sont effectuées selon la formule utilisée par Chung *et al.* (2003), Dhima *et al.* (2006), Ben Meddour (2010) :

$$\%I = [(T\acute{e}moin - Extrait) / T\acute{e}moin] \times 100$$

%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 LPA de chaque boîte traitée par l’extrait aqueux.

Le %I de chaque variable (la germination, la longueur de la partie aérienne) est calculé séparément, tel que : **% IG** : Le pourcentage d’inhibition de germination (G)

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

2.2.7.3 Le Temps Moyen de Germination (TMG)

La vitesse de germination peut s’exprimer par différentes méthodes : parmi ces méthodes, le temps moyen de germination (TMG) qui se calcule de la façon suivante selon Benadjaoud et Aid (2004), Farajollahi *et al.* (2013)

$$TMG = \sum i (Ni \times Di) / N$$

Où N_i : le nombre de graines nouvellement germées au temps i , D_i : nombre de jours depuis le début du test de la germination, et N est le nombre total de graines germées

2.2.7.4 Cinétique de Germination (CG)

La cinétique de germination est une courbe de germination qui décrit le déroulement de la germination du lot de semences considéré placé dans des conditions bien précises. Elle

représente le plus souvent l'évolution des pourcentages de germination cumulés en fonction du temps. Cette cinétique est établie à partir des taux cumulés de graines germées ; c'est-à-dire la variation des taux de germination en fonction du temps exprimé en jour (Dadach, 2016).

Les courbes de germination donnent une idée complète de l'évolution de la germination d'un lot de semences placées dans des conditions déterminées (Mguis et *al.*, 2011).

2.2.8 Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont effectuées selon le dispositif complètement randomisé avec 4 répétitions pour chaque espèce.

Une analyse de variance non paramétrique de Kruskal-Wallis (ANOVA à un seul facteur) a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS, v21. Nous avons analysé pour chaque espèce, l'effet des différents traitements et le témoin sur les paramètres TG et LPA. Pour chaque ANOVA avec $p < 0,05$, une comparaison des paires de traitements a été effectuée par le test de Dunn-Bonferroni.

Les histogrammes du paramètres TG ; TMG, %IG, %ILPA, ainsi que les courbes de CG ont été effectués à l'aide du programme Excel 2021.

Chapitre III : Résultats et discussion

3 Résultats et discussion

3.1 Effet des extrais aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination (TG) des trois espèces

La figure 13, représente les histogrammes de variations des taux de germination (TG) pour les trois espèces étudiées, à savoir, le blé dur, l'orge et la centaurée en fonction des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala*. A première vue, il y a deux remarques qu'on peut tirer de ces histogrammes ; i) On remarque que pour chacune des concentrations, la valeur du TG du blé dur est toujours supérieure, suivie par celle de l'orge, et la centaurée vient en dernière position. ii) l'allure des histogrammes montre une diminution du TG des trois espèces en fonction de l'augmentation des concentrations des extraits de *P. harmala*. La lecture des résultats par espèce montre que le TG de blé dur varié entre 100 pour C0 et 76% pour C4. Pour l'orge, ce taux varie de 85 % pour la concentration témoin et 20 % pour la concentration C4. Quant à la centaurée, l'effet des différentes concentrations d'extrait aqueux de *P. harmala* est plus remarquable ; on observe une diminution sévère du TG de 71 % pour C0 à 5 % pour C4.

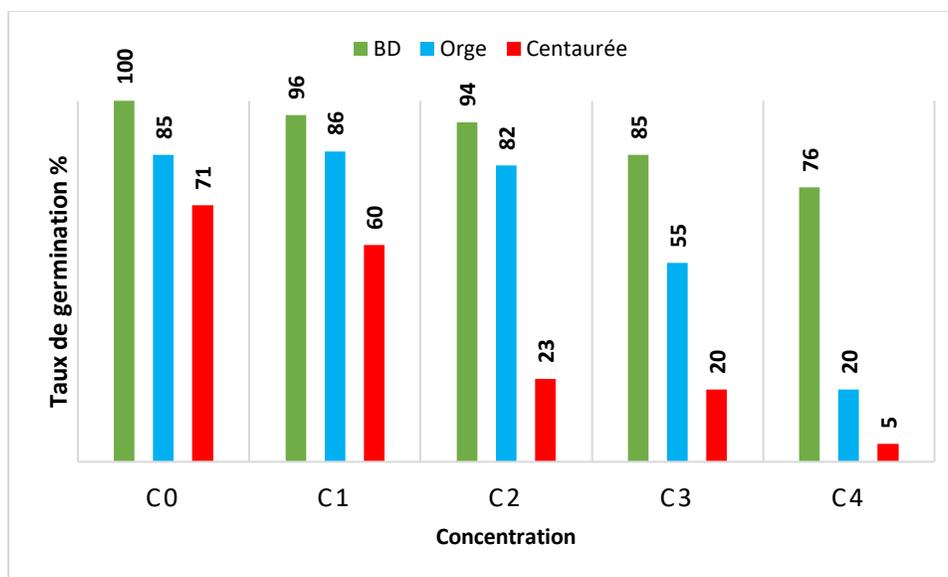


Figure 13. Effet des extrais aqueux de *Peganum harmala* sur le taux de germination du blé dur de l'orge et de la centaurée

3.1.1 Analyses statistiques des taux de germination (TG)

Avant d'effectuer l'analyse de la variance, nous avons testé la normalité des distributions de la variable taux de germination (TG) dans les trois espèces étudiées sous l'effet des différents traitements des extraits de *P. harmala*.

Les résultats des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov et Shapiro-Wilk montrent que les taux de germination dans les trois espèces étudiées ne suivent pas une distribution normale. Les *p*-value des deux tests sont tous inférieure à la valeur seuil de 5% (Tableau 2).

Tableau 2. Tests de normalité de la variable TG dans les trois espèces étudiées sous l'effet des extraits de *P. harmala* (seuil de signification $p < 0.05$)

Espèces	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	<i>p</i>	Statistique	ddl	<i>p</i>
Blé dur	.202	20	.032	.835	20	.003
Orge	.287	20	.000	.775	20	.000
Centaurée	.208	20	.024	.877	20	.016

L'analyse de variance non paramétrique de Kruskal-Wallis indique que les taux de germination (TG) des trois espèces sont significativement affectés par les différents traitements des extraits de *P. harmala* ($p < 0,05$; Tableau 3).

Tableau 3. ANOVA non paramétrique à un seul facteur de Kruskal-Wallis de l'effet des différents traitements des extraits aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination des trois espèces étudiées (seuil de signification $p < 0,05$)

Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
La distribution des TG de blé dur est identique sur les catégories des concentrations	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendant	0,009	Rejeter l'hypothèse nulle
La distribution des TG de l'orge nue est identique sur les catégories des concentrations		0,032	
La distribution des TG de la centaurée est identique sur les catégories des concentrations		0,005	

Le test de Kruskal-Wallis pour le TG de blé dur a indiqué une différence significative ($p < 0,05$) entre les rangs moyens d'au moins une paire de groupes. Pour savoir quelle(s) paire(s) de groupe(s) sont significativement différentes, nous avons procédé à la comparaison des groupes par paires selon le test de Dunn ajusté à l'aide de la correction de Bonferroni.

Le test de Dunn-Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le TG moyen du blé dur, a été effectué pour les 10 paires de groupes issus de la combinaison des 5 concentrations (Tableau 8, annexe). Les résultats de la comparaison par paires de groupes indiquent que le traitement C0 (100 %) est significativement différent de C3 (85 %) et C4 (76 %) à $p < 0,05$. En revanche, le même test n'a révélé aucune preuve d'une différence entre les autres paires de groupes. Les différentes concentrations peuvent être divisées en deux groupes homogènes selon leurs effets sur le TG du

blé dur, mais ne sont pas clairement séparés. Le premier groupe comprend les concentrations C0, C1 et C2, et le deuxième groupe comprend C2, C3 et C4 (Figure 14, Tableau 4).

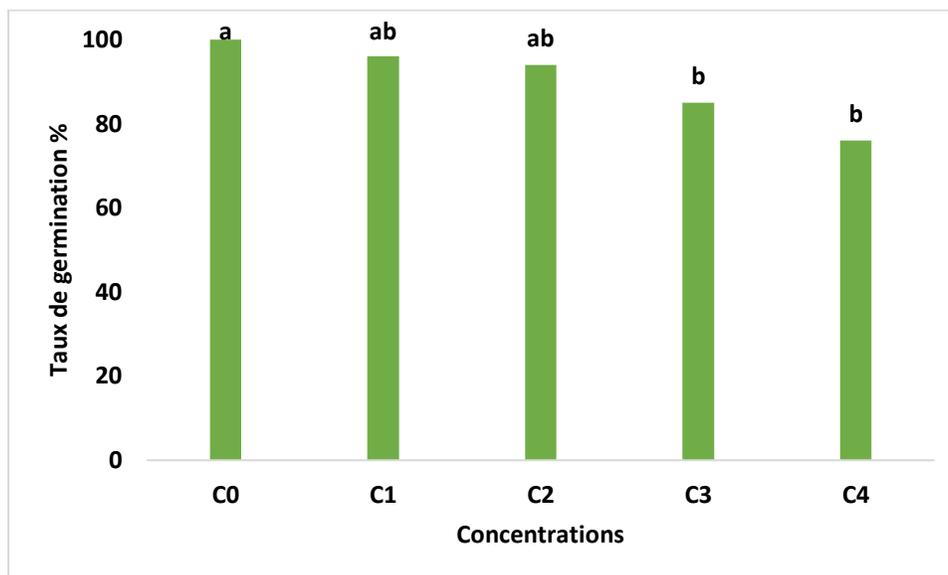


Figure 14. Comparaisons des effets des différents traitements de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination du blé dur. La même lettre sur des barres similaires indique des différences non significatives (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Les comparaisons par le test de Dunn-Bonferroni de l'effet des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le TG moyen de l'orge ont été effectués pour les 10 paires de groupes issus de la combinaison des 5 concentrations (Tableau 9, annexe). Les résultats montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre le traitement C1 avec une valeur moyenne de TG de 86 % et le traitement C4 avec une valeur moyenne de TG de 20 %. Par contre, les résultats du même test n'ont révélé aucune différence significative entre les autres paires de groupes de concentrations. Les différentes concentrations peuvent être divisées en deux groupes homogènes selon leurs effets sur le TG de l'orge, mais ne sont pas clairement séparés. Le premier groupe comprend les concentrations C0, C1, C2 et C3 et le deuxième groupe comprend C0, C2, C3 et C4 (Figure 15 ; Tableau 4).

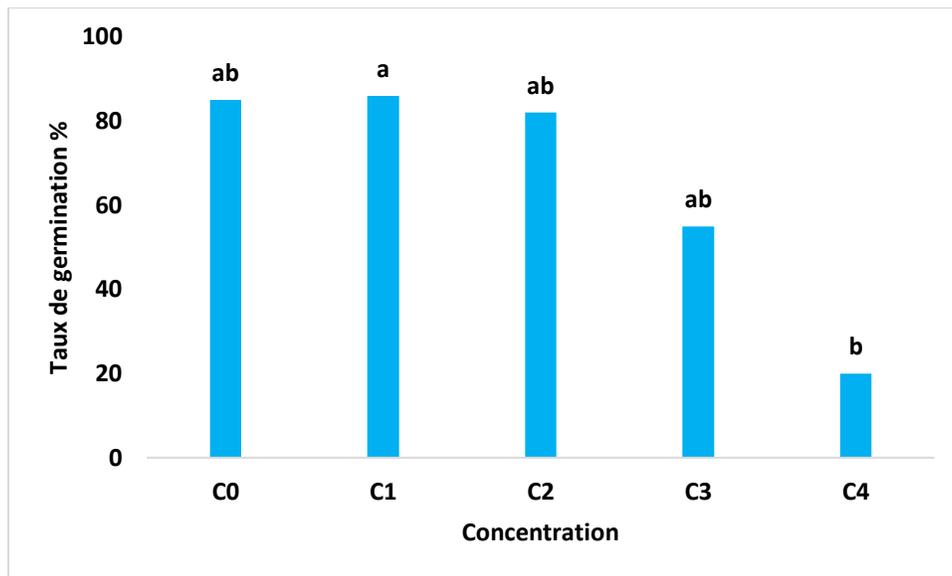


Figure 15. Comparaisons des effets des différents traitements de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination de l'orge nue. La même lettre sur des barres similaires indique des différences non significatives (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Les comparaisons par paires de groupes de l'effet des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le TG moyen de *Centaurea sp.* ont été effectués pour les 10 paires de groupes issus de la combinaison des 5 concentrations (Tableau 10, annexe). Les résultats montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre le traitement C0 (TG = 71 %) et le traitement C4 (TG = 5 %). Par contre, les résultats du même test n'ont révélé aucune différence significative entre les autres paires de groupes. Deux groupes homogènes, mais ne sont pas clairement séparés peuvent être observés. Le premier groupe comprend les concentrations C0, C1, C2 et C3 et le deuxième groupe comprend C1, C2, C3 et C4 (Figure 16 ; Tableau 4).

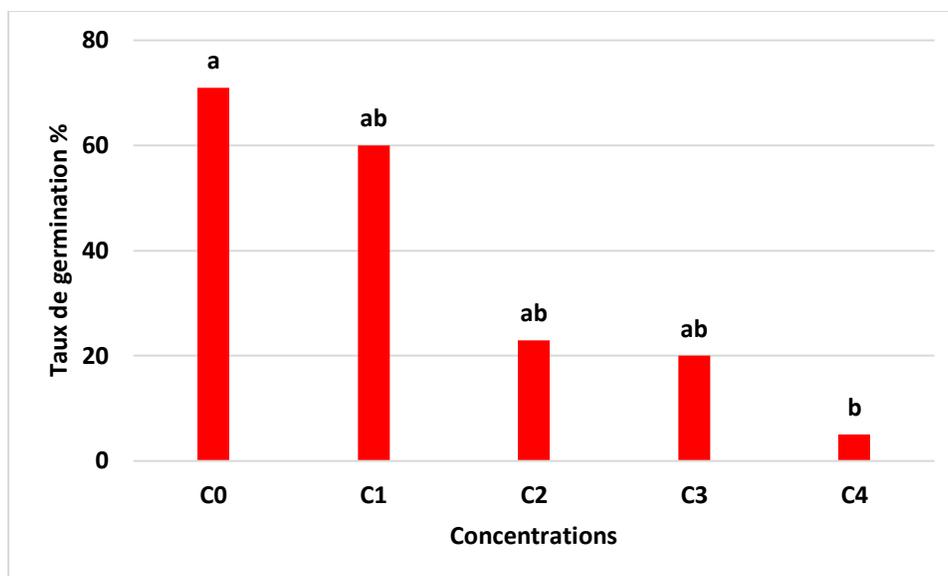


Figure 16. Comparaisons des effets des différents traitements de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination de *Centaurea sp.* La même lettre sur des barres similaires indique des différences non significatives (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Tableau 4. Résultats du test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur le taux de germination (TG) de blé dur, de l'orge et de la centaurée

Traitement (concentration %)	Blé dur	Orge nue	Centaurée
C0 (0%)	100 ^a	85 ^{ab}	71 ^a
C1 (1 %)	96 ^{ab}	86 ^a	60 ^{ab}
C2 (3%)	94 ^{ab}	82 ^{ab}	23 ^{ab}
C3 (5 %)	85 ^b	55 ^{ab}	20 ^{ab}
C4 (7 %)	76 ^b	20 ^b	5 ^b

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Dunn- Bonferroni à $p < 0,05$

3.1.2 Effet inhibiteur de *P. harmala* sur le taux de germination (TG) du blé dur, de l'orge nue et de la centaurée

L'analyse de la figure 17, montre que l'extrait aqueux de *P. harmala* présente un effet inhibiteur puissant sur le taux de germination de *Centaurea sp* en comparaison avec le blé dur et l'orge. A la concentration C2 (3 %), le pourcentage d'inhibition de *Centaurea sp* est de 68%, alors que pour la même concentration, ce pourcentage d'inhibition varié entre 5% pour l'orge et 6% pour le blé dur. Aux concentrations C3 (5 %) et C4 (7 %), on remarque que l'extrait aqueux de *P. harmala* commence à avoir un effet inhibiteur sur le blé dur et sur l'orge, mais avec des taux relativement faibles pour le blé dur (15 % pour C3 et 24 % pour C4) en comparaison avec l'orge qui atteint 72% à la concentration C3 et 77 % à la concentration C4. Pour ces deux concentrations, la centaurée reste de loin la plus sensible à l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux de *P. harmala* avec des pourcentages d'inhibition de 72% à C3 et 93% à C4.

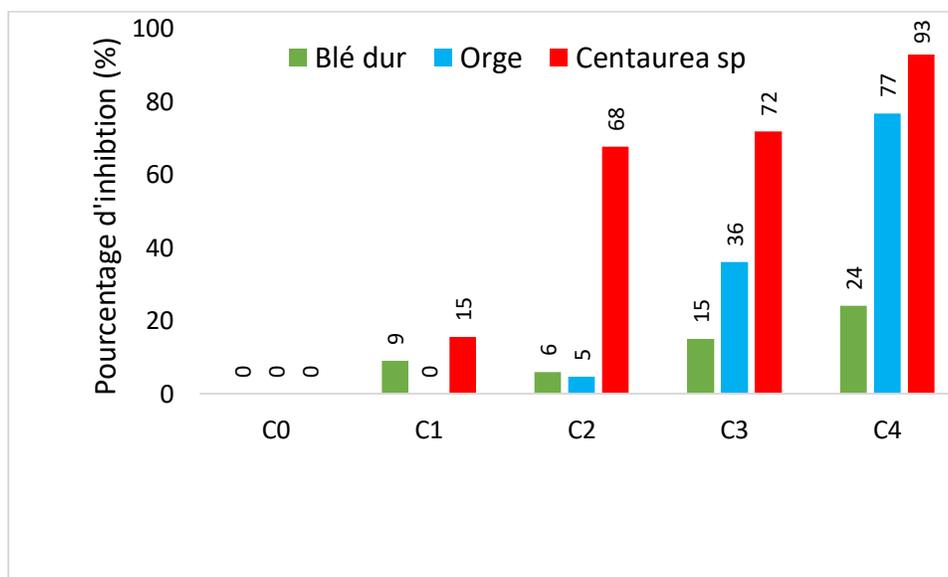


Figure 17. Effet inhibiteur des différentes concentrations de l'extrait de *P. harmala* sur le taux germination (TG) du blé dur, de l'orge nue et de la centaurée

3.2 Effet de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) des espèces étudiées

La figure 18, montre que l'extrait aqueux de *P. harmala* a un effet négatif sur la longueur de la partie aérienne des plantules des espèces étudiées. Nous avons constaté une réduction significative de la longueur de la partie aérienne du blé dur, de l'orge nue et de *Centaurea sp* lorsqu'ils étaient exposés à l'extrait aqueux de *P.harmala*. La LPA du blé dur a diminué de 97mm pour la concentration C0 (0%) à 19mm pour la concentration C4 (7%). Cependant, pour l'orge nue, nous avons constaté une légère stimulation de LPA à la concentration C1 (1%), puis une diminution pour les concentrations C3 (5%) et C4 (7%). Les valeurs de LPA respectives sont : 133mm, 18mm et 33mm. La centaurée s'est montrée la plus sensible à l'effet allélopathique de *P. harmala*. Les LPA varient entre 44mm et 55 mm pour les concentrations C0 (0%) et C1 (1%), et s'annulent aux concentration 5 et 7%. La réduction de la LPA dans les trois espèces était dose-dépendante, ce qui suggère que les composés présents dans l'extrait peuvent interférer avec la croissance et le développement des plantules.

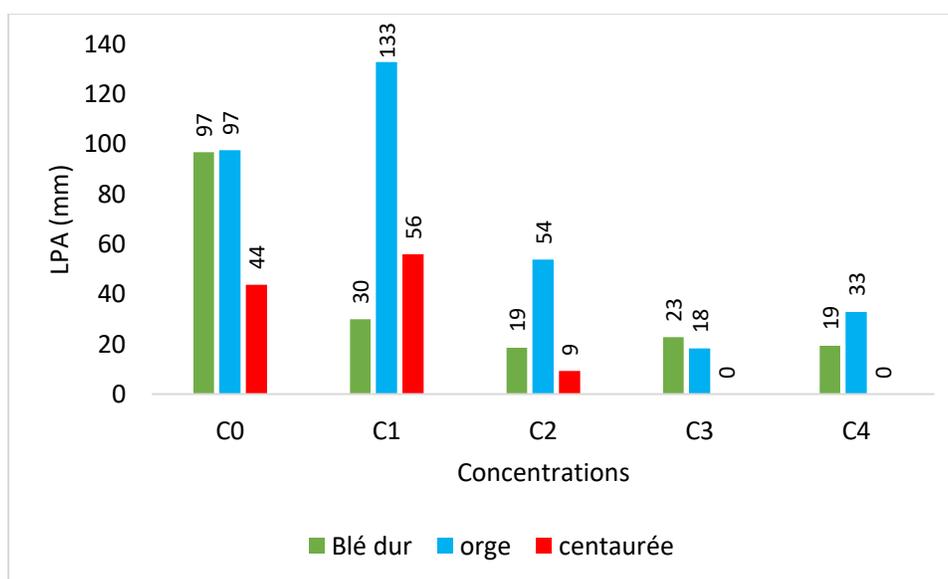


Figure 18. Effet des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge nue et de la centaurée

3.2.1 Analyses statistiques des longueurs de la partie aérienne (LPA)

Les résultats des deux tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov et Shapiro-Wilk montrent que le paramètre LPA dans les trois espèces étudiées ne suit pas une distribution normale. Les p -value des deux tests sont tous inférieure à la valeur seuil de 5% (Tableau 5).

Tableau 5. Test de normalité de la variable taux de germination dans les trois espèces étudiées sous l'effet des extraits de *P. harmala* (seuil de signification $p < 0.05$)

Espèces	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	p.	Statistique	ddl	p.
Blé dur	.134	105	.000	.917	105	.000
Orge nue	.120	105	.001	.933	105	.000
Centaurée	.108	105	.004	.930	105	.000

L'analyse de variance non paramétrique de Kruskal-Wallis indique que les longueurs de la partie aérienne (LPA) des trois espèces sont significativement affectés par les différents traitements des extraits de *P. harmala* ($p < 0,05$; Tableau 6).

Tableau 6. ANOVA non paramétrique à un seul facteur de Kruskal-Wallis de l'effet des différents traitements des extraits aqueux de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) des trois espèces étudiées (seuil de signification $p < 0,05$)

Hypothèse nulle	Test	P.	Décision
La distribution des LPA de blé dur est identique sur les catégories des concentrations	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendant	0,000	Rejeter l'hypothèse nulle
La distribution des LPA de l'orge est identique sur les catégories des concentrations		0,000	
La distribution des LPA de la centaurée est identique sur les catégories des concentrations		0,000	

Le test de Dunn-Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet de différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur la moyenne de LPA du blé dur, a été effectué pour les 10 paires de groupes issus de la combinaison des 5 traitements (Tableau 11, annexe). Les résultats de comparaisons montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre C0 avec une moyenne de LPA de de 97mm et les autres concentrations de C1, C2, C3 et C4 avec des valeurs de LPA de 30, 19, 23 et 19mm respectivement (Tableau 7). La figure 19, montre deux groupes statistiquement différents ($p < 0,05$). Le premier groupe est celui de la moyenne de LPA de la concentration témoin (C0), tandis que le deuxième groupe renferme les valeurs de LPA des autres concentrations

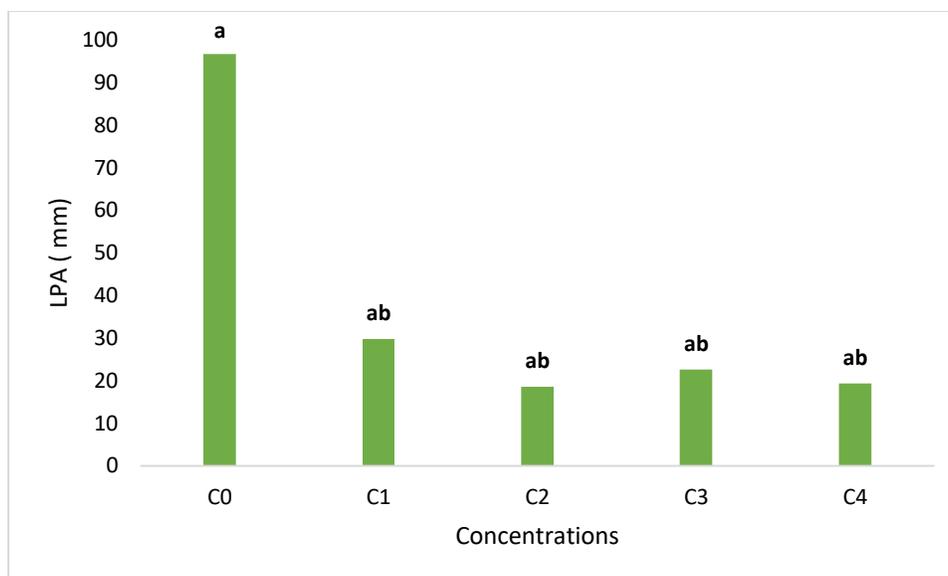


Figure 19. Comparaison de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur les longueurs de la partie aérienne (LPA) du blé dur. Les barres similaires avec des lettres différentes sont significativement différentes les unes des autres (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Le test de Dunn- Bonferroni de comparaisons par paires de groupes de l'effet de différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur la moyenne de LPA de l'orge nue (Tableau 12, annexe) a révélé des différences significatives ($p < 0,05$) entre C0 et les autres concentrations d'une part et entre C1 et les concentrations C2, C3 et C4 d'autre part.

La Figure 20 montre trois groupes homogènes, mais ne sont pas clairement séparés. Le premier groupe comprend les moyennes de LPA de l'ensemble des traitements utilisés. Le deuxième groupe comprend les moyennes de LPA des concentrations C1, C2, C3 et C4, or que le troisième groupe rassemble les valeurs moyennes de LPA sous l'action des concentrations C2, C3 et C4 (Tableau 7).

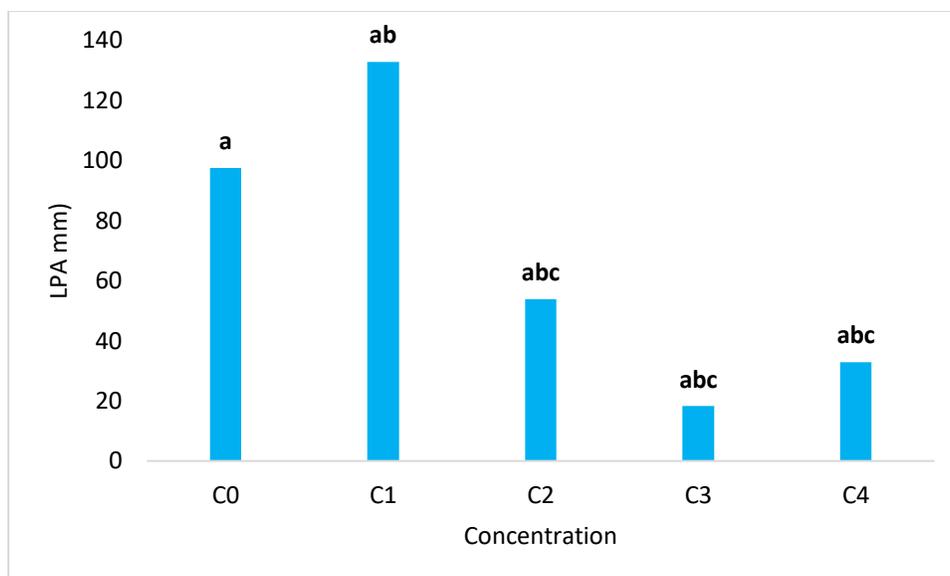


Figure 20. Comparaison de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur les longueurs de la partie aérienne (LPA) de l'orge nue. Les barres similaires avec des lettres différentes sont significativement différentes les unes des autres (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Le test de Dunn- Bonferroni de comparaisons par paires de groupes de l'effet de différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur la moyenne de LPA de la centaurée a révélé une différence significative ($p < 0,05$) entre C2 et les concentrations C0 et C1 (Tableau 13, annexe).

Deux groupes homogènes sont distingués dans la figure 21. Le premier groupe est constitué des moyennes de LPA sous l'effet des concentrations C0 et C1 dont les valeurs moyennes de LPA sont 44mm et 55mm respectivement, le deuxième groupe est celui de C2 avec des valeurs moyennes de LPA de 9mm (Tableau 7).

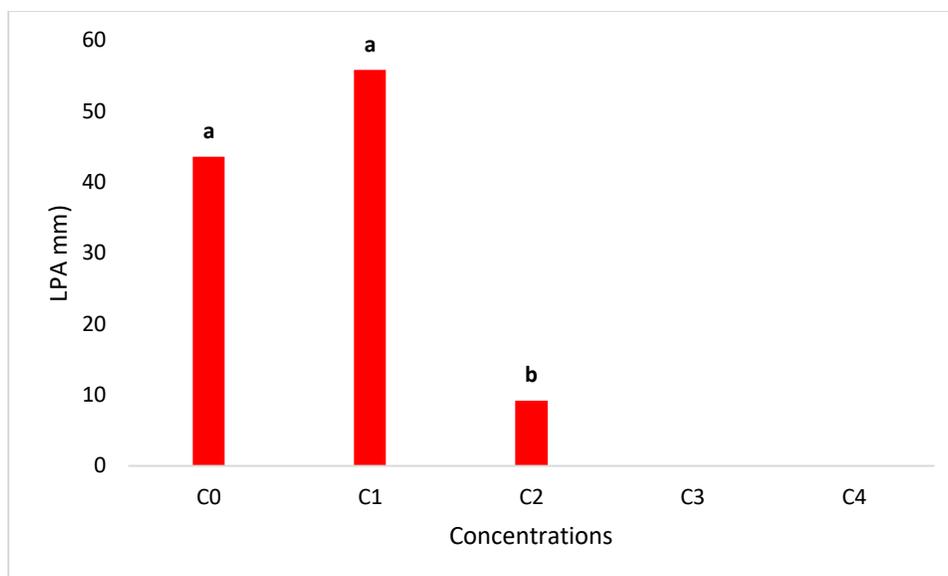


Figure 21. Comparaison de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur les longueurs de la partie aérienne (LPA) de la centaurée Les barres similaires avec des lettres différentes sont significativement différentes les unes des autres (Test de Dunn-Bonferroni, $p < 0,05$)

Tableau 7. Résultats du test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge et de la centaurée

Traitement (concentration %)	Blé dur (mm)	Orge (mm)	Centaurée (mm)
C0 (0%)	97 ^a	97 ^a	44 ^a
C1 (1 %)	30 ^{ab}	133 ^{ab}	56 ^a
C2 (3%)	19 ^{ab}	54 ^{abc}	9 ^b
C3 (5 %)	23 ^{ab}	18 ^{abc}	0
C4 (7 %)	19 ^{ab}	33 ^{abc}	0

Les moyennes suivies par la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$

3.2.2 Effet inhibiteur de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge et de la mauvaise herbe *Centaurea sp*

Les résultats de l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux de *P. harmala* sont illustrés dans la figure 22. On remarque que, à la concentration C1 (1 %), les trois espèces n'ont pas réagi de la même manière vis-à-vis l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux de *P. harmala*. Au moment où le blé dur présente un taux d'inhibition de 69 %, on observe que l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux de *P. harmala* est négatif sur l'orge et la centaurée, qui veut dire, que à cette concentration, l'extrait aqueux a exercé un effet stimulateur de LPA sur ces deux espèces. En revanche, à partir des concentrations C3 et C4, nous avons enregistré un taux d'inhibition de 100 % chez *Centaurea sp*, contre 77 et 80 % pour le blé dur et 81 et 66 % pour l'orge respectivement.

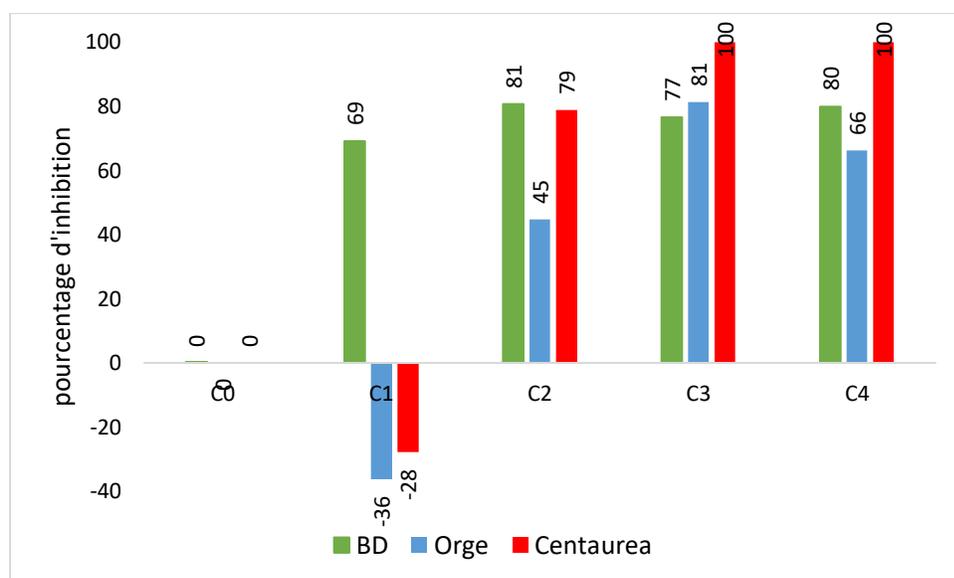


Figure 22. Effet inhibiteur des différentes concentrations de l'extrait de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur, de l'orge nue et de la centaurée

3.2.3 Temps moyen de germination (TMG) des trois espèces étudiées sous l'effet de l'extrait aqueux de *P. harmala*

La vitesse de germination est exprimée par le temps moyen de germination (TMG) en jour. La figure 23 illustre les variations du TMG en fonction des différents traitements des extraits aqueux de *P. harmala*. On constate que la vitesse de germination dans le blé dur et l'orge ne semble pas être affectée par les l'accroissement des concentrations des extraits aqueux de *P. harmala*. Par contre, pour *Centaurea sp*, nous avons remarqué un ralentissement de la vitesse de germination pour les traitements C3 et C4 traduit par un TMG de 4,5 et 4,2 jours respectivement

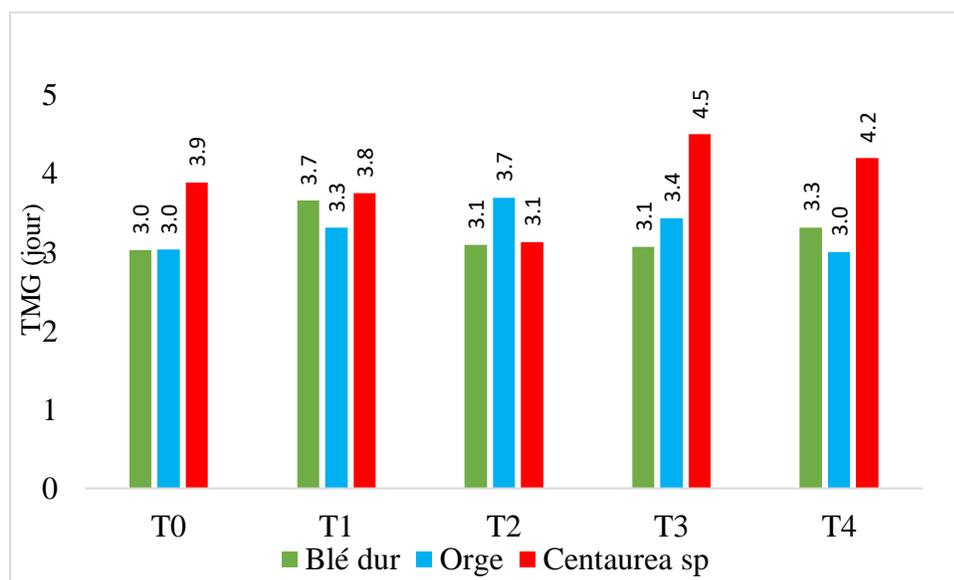


Figure 23. Temps moyen de germination (TMG) du blé dur, de l'orge et de la centaurée sous l'effet de différentes concentrations de l'extrait aqueux de *P. harmala*

3.2.4 Effet de *P. harmala* sur la cinétique de germination (CG) des trois espèces étudiées

3.2.4.1 Effet sur la cinétique de germination (CG) du blé dur

Les observations de la cinétique de germination ont été effectuées sur une période de 15 jours. Les courbes de la figure 24 représentent les évolutions des pourcentages de germination cumulés

des graines en fonction du temps en jours. A première vue, on constate une accélération rapide des pourcentages de germination cumulés durant les 3 premiers jours, et ce pour les différentes concentrations des extraits aqueux de *Peganum harmala*. A partir du 3^{ème} jour et jusqu'à la fin de l'expérimentation, on observe une stabilisation de la CG à des niveaux différents ; en concentration C0 (témoin), la CG se stabilise à 100 %. Pour les concentrations C1 et C2, C3, et C4, les valeurs de CG se stabilisent autour de 91, 94, 85 et 71 % respectivement.

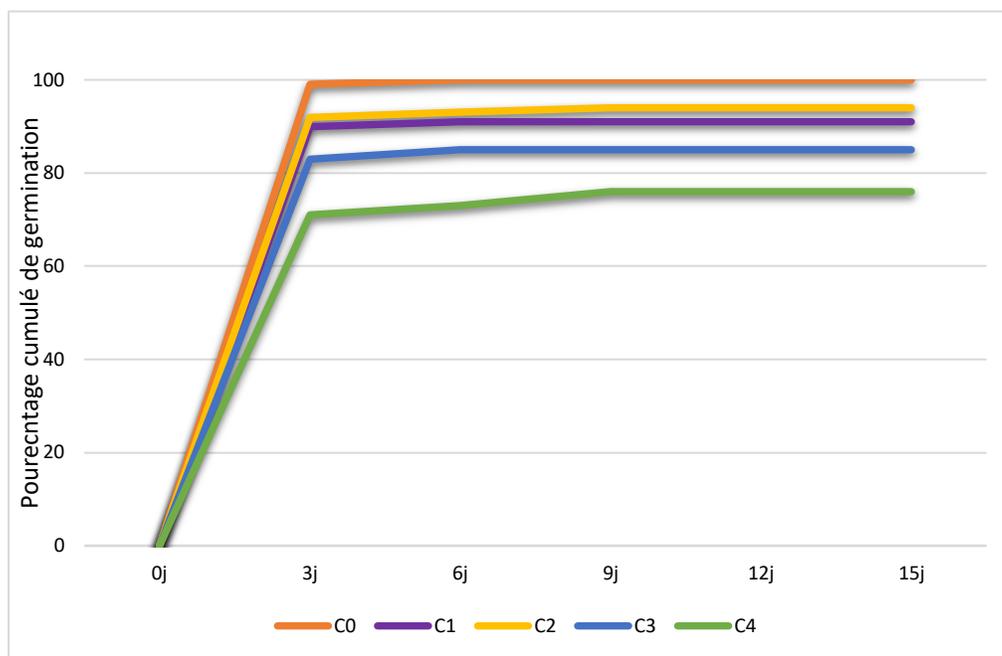


Figure 24. Effet des extraits aqueux de *P. harmala* sur la cinétique de germination du blé dur

3.2.4.2 Effet sur la cinétique de germination (CG) du de l'orge nue

Les courbes dans la figure 25 représentent l'évolution de la cinétique de germination de l'orge nue en fonction du temps (jours). A la concentration C0, la valeur de la CG atteint 84 % durant les trois premiers jours, et se stabilise à la valeur de 85% en fin de l'expérimentation. Pour les concentrations C1 et C2, on note des valeurs de CG de 79 % et 66 % durant les trois premiers jours respectivement. Une légère augmentation de CG a été notée pour ces deux concentrations entre le 3^{ème} et le 6^{ème} jour et se stabilisent à partir du 9^{ème} jour à des valeurs de 86 et 82 %.

L'allure des courbes de CG des concentrations C3 et C4 montrent une légère augmentation durant les trois premiers jours estimées de 47 et 20 %, et se stabilisent en fin de l'expérimentation à des valeurs de 55 et 20 % respectivement.

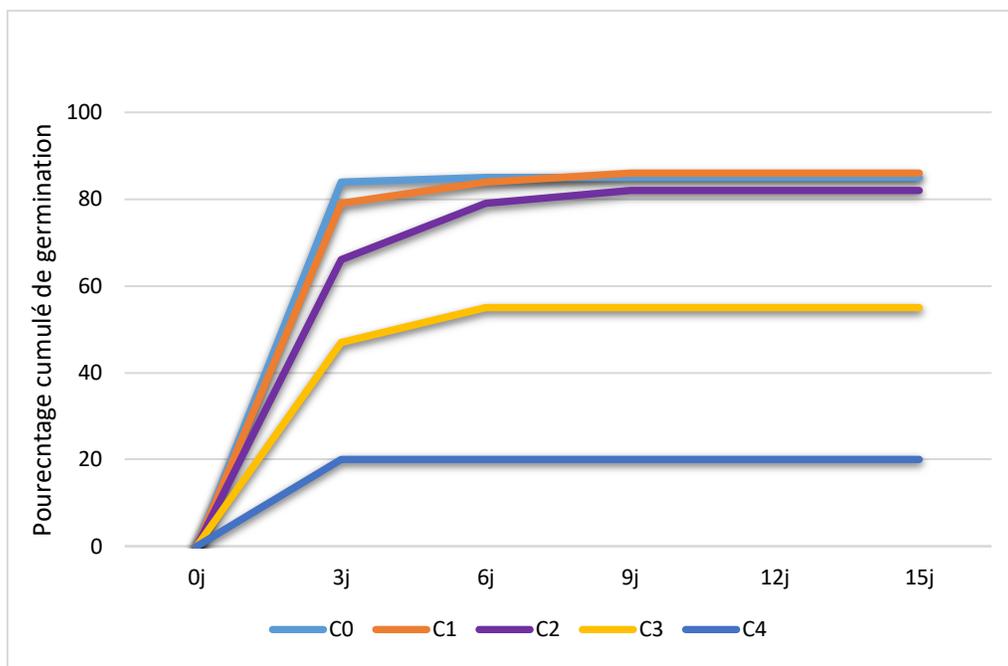


Figure 25. Effet des extraits aqueux de *P. harmala* sur la cinétique de germination de l'orge nue

3.2.4.3 Effet sur la cinétique de germination (CG) du de *Centaurea sp*

Les courbes de la figure 26 représentent l'évolution de la cinétique de germination (CG) de la mauvaise herbe ; *Centaurea sp* sous l'effet des différentes concentrations des extraits aqueux de *Peganum harmala*. On observe une augmentation des valeurs de CG pour les différentes concentrations jusqu'à le 6^{ème} jour, à partir de là, la cinétique de germination se stabilise pour des valeurs différentes en fonction des concentrations de l'extrait. Au 15^{ème} jour, la valeur la plus élevée de CG est 71% a été enregistrée pour le témoin C0, suivie par des valeurs de 60, 23, 20 et 5 % pour les concentrations C1, C2, C3 et C4 respectivement.

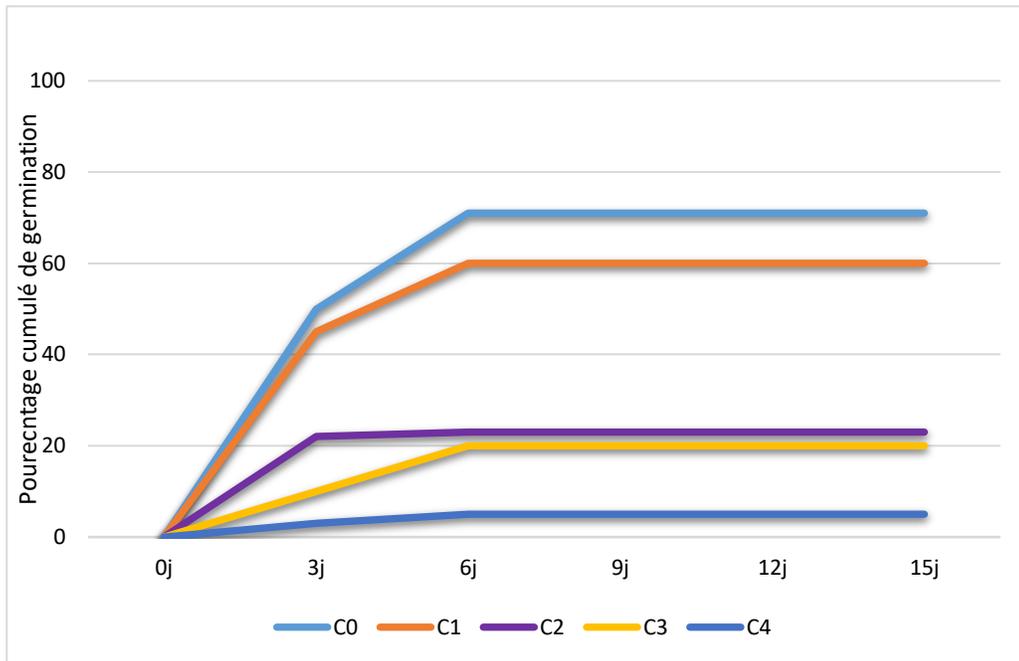


Figure 26. Effet des extrais aqueux de *P. harmala* sur la cinétique de germination de la mauvaise herbe *Centaurea sp*

Discussion

Nos résultats démontrent que l'extrait aqueux de *P. harmala* a un effet significatif sur le taux de germination des espèces étudiées. La diminution du TG était dose-dépendante, ce qui suggère que plus la concentration de l'extrait était élevée, plus l'effet inhibiteur sur la germination était important. En comparaison avec le traitement témoin, le TG dans les trois espèces a diminué sensiblement avec l'augmentation des concentrations des extraits de *P. harmala*. Cette diminution n'est pas proportionnellement similaire pour les trois espèces. La centaurée s'est montrée la plus sensible aux effets allélopathique de de l'extrait de *P. harmala* en comparaison avec le blé dur et l'orge nue. A la dose de C4 (7%), le taux de germination de *Centaurea sp* a atteint 5%, contre 20% dans l'orge nue et 76% dans le blé dur. De plus, notre étude a également révélé que l'extrait aqueux de *P. harmala* a un effet négatif sur la longueur de la partie aérienne des plantules des espèces étudiées. Nous avons constaté une réduction significative de la longueur de la partie aérienne du blé dur, de l'orge nue et de *Centaurea sp*. lorsqu'ils étaient exposés à l'extrait aqueux de *Peganum harmala*.

Dans tous les traitements, l'effet allélopathique négatif de *P. harmala* traduit par le pourcentage d'inhibition du taux de germination (TG) et de la longueur des partie aérienne (LPA) des trois espèces a augmenté avec l'augmentation de la concentration de l'extrait de *P. harmala*. Encore une fois, cette augmentation du pourcentage d'inhibition était dose-dépendante, ce qui suggère que les composés présents dans l'extrait peuvent interférer avec la croissance et le développement des plantules.

Ces résultats corroborent avec ceux de Sodaeizadeh et al., (2009). Farajollahi et al., (2013) ont trouvé que les graines de *Bromus tectorum* ont été sensible aux effets allélochimiques de *P. harmala* pendant le temps de germination. Shao et al., (2013) ont trouvé que les extraits à l'éthanol de feuilles, de tiges, de racines et de graines de de *P. harmala* ont tous exercé une très forte activité inhibitrice sur la croissance des semis de blé dur (monocotylédone) et de laitue (dicotylédone). L'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala* a été identifié pour son inhibition de la germination et de la croissance des semis de blé et de moutarde (Aslam et al., 2016). Pour une dilution de 5 à 25 % de l'extrait, le taux de germination des deux cultures était plus affecté par un extrait plus concentré (20 à 25 %) (Aslam et al., 2016). Le taux de germination de la moutarde a

été réduit à 80 % et celui du blé à environ 53 à 25 % après 7 jours de la première exposition. L'inhibition était donc dépendante de la dose et du temps (Aslam et al., 2016). L'harmaline a induit une réduction de la croissance cellulaire, de la teneur en pigments et du dégagement d'oxygène sur l'algue verte *Chlorella pyrenoidosa* (Deng et al., 2014).

Bien qu'il soit souvent supposé que l'effet inhibiteur des extraits de plantes sur la germination des graines ou la croissance des semis est causé par des phytotoxines, il est également possible que les extraits exercent des effets osmotiques négatifs sur les espèces testées (Wardle et al. 1992). Les tests de détermination des polyéthylène glycol (PEG), effectués par Sodaeizadeh et al. (2009) avec différentes concentrations de PEG n'ont montré aucune différence significative sur la germination et la croissance de *Avena fatua* L., et *Convolvulus arvensis* L. Les effets négatifs observés des extraits aqueux de différentes parties de plantes de *P. harmala* suggèrent que ce dernier matériau contient des composés inhibiteurs qui peuvent être lessivés avec de l'eau.

Des études précédentes ont rapporté que les espèces de *Peganum* présentaient un effet inhibiteur sur la croissance des plantes. Khan et al. (2011) ont constaté qu'un extrait au méthanol de *P. harmala* diminuait la germination des graines de radis ; Sodaeizadeh et al. (2009, 2010) ont rapporté que l'extrait aqueux et les résidus végétaux de *P. harmala* étaient toxiques pour les plantes traitées, les feuilles étant plus toxiques que les tiges et les racines, et les acides phénoliques ont été proposés comme phytotoxines responsables. Une quantité importante d'acides phénoliques solubles dans l'eau a été trouvée dans les extraits de plantes *P. harmala*. La teneur totale en acides phénoliques était plus élevée dans les extraits de feuilles que dans les extraits de tiges ou de racines. Selon ces études, les acides phénoliques ont été identifiés comme candidats allélochimiques potentiels principalement parce qu'ils étaient les composés les plus abondants dans les différentes parties de *P. harmala* avec des propriétés allélopathique prononcées. D'autres études confirment l'existence d'autres phytotoxines qui contribuent aux propriétés inhibitrices de *P. harmala*. Selon Herraiz et al., (2010), l'harmaline, l'harmine, l'harmalol, l'harmol et la tétrahydroharmine ont été identifiés et quantifiés comme les principaux alcaloïdes bêta-carboline dans les extraits de *P. harmala*. Les graines et les racines contenaient les niveaux les plus élevés d'alcaloïdes avec de faibles niveaux dans les tiges et les feuilles, et l'absence dans les fleurs. L'harmine et l'harmaline se sont accumulées dans les graines sèches à

4,3 % et 5,6 % (p/p), respectivement, l'harmalol à 0,6 % et la tétrahydroharmine à 0,1 % (p/p). Les racines contenaient de l'harmine et de l'harmol à 2,0 % et 1,4 % (p/p), respectivement.

Dans la présente étude, nous avons constaté que la centaurée qui est une plante dicotylédone, s'est montrée la plus sensible à l'effet allélopathique de *P. harmala*. Les LPA dans cette espèce s'annulent aux concentrations C3 (5%) et C4 (7%). La vitesse de germination exprimée par TMG a été retardée significativement dans *Centaurea sp* en comparaison avec le blé dur et l'orge nue. De même, la cinétique de germination (CG) dans *Centaurea sp*, en comparaison avec les deux autres plantes, a été affectée sensiblement par l'effet allélopathique de *P. harmala* à partir des concentrations C3 et C4. Nos résultats confirment ceux de Shao et al., (2013), ayant révélé que les alcaloïdes totaux des graines de *P. harmala* possédaient un effet inhibiteur de croissance significatif sur les plantes traitées, selon les mêmes auteurs, les plantes dicotylédones (laitue et amarante) étant plus sensibles que les plantes monocotylédones testées (blé et ray-grass). Les alcaloïdes, l'harmaline et l'harmine, sont les principales phytotoxines actives dans les alcaloïdes totaux. L'harmaline possédait une forte activité inhibitrice sur les plantes traitées, les dicotylédones étant plus sensibles, tandis que l'harmine présentait une activité non sélective et relativement faible.

Conclusion

L'effet allélopathique, qui se réfère à l'influence directe ou indirecte des composés chimiques libérés par une plante sur la croissance et le développement d'autres plantes, est un phénomène bien connu dans le règne végétal. L'extrait aqueux de *Peganum harmala* (*Nitrariaceae*), est connu pour contenir une variété de composés bioactifs tels que les alcaloïdes harmaline et harmine. Dans cette étude, nous avons évalué l'effet de cet extrait sur le taux de germination et la longueur de la partie aérienne de trois espèces différentes : le blé dur, l'orge nue et une mauvaises herbe envahissante des céréales (*Centaurea sp*). La centaurée s'est montrée la plus sensible aux effets allélopathique de de l'extrait de *P. harmala* en comparaison avec le blé dur et l'orge nue. A la dose de C4 (7%), le taux de germination (TG) de *Centaurea sp* a atteint 5%, contre 20% dans l'orge nue et 76% dans le blé dur.

De plus, notre étude a également révélé que l'extrait aqueux de *P. harmala* a un effet négatif sur la longueur de la partie aérienne (LPA) des plantules des espèces étudiées. Nous avons observé une réduction significative de la LPA du blé dur, de l'orge nue et de *Centaurea sp* lorsqu'ils étaient exposés à l'extrait aqueux de *P. harmala*. Il a été constaté que la centaurée (dicotylédone) est la plus sensible à l'effet allélopathique de *P. harmala*. Les LPA dans cette espèce s'annulent aux concentration C3 (5%) et C4 (7%). La vitesse de germination exprimée par TMG a été retardée significativement dans *Centaurea sp* en comparaison avec le blé dur et l'orge nue. De même, la cinétique de germination (CG) dans *Centaurea sp*, en comparaison avec les deux autres plantes, a été affectée sensiblement par l'effet allélopathique de *P. harmala* à partir des concentrations C3 et C4. Cette réduction était dose-dépendante, ce qui suggère que les composés présents dans l'extrait peuvent interférer avec la croissance et le développement des plantules.

Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte l'effet potentiel de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur les cultures agricoles et les plantes indigènes. Bien que cette plante ait été utilisée dans certaines pratiques traditionnelles et médicinales, nos résultats mettent en évidence son potentiel d'inhibition de la germination et de la croissance des plantes. Il est donc nécessaire de mettre en place des stratégies de gestion appropriées pour minimiser l'effet négatif de cette plante sur les cultures et les écosystèmes naturels.

Des études futures pourraient se concentrer sur l'identification et la caractérisation des composés spécifiques responsables de l'effet allélopathique de *P. harmala*. Cela permettrait de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents de cet effet et d'explorer des approches potentielles pour exploiter ses effets négatifs sur des plantes adventices. De plus, il serait intéressant d'étudier l'effet de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur d'autres espèces de plantes pour évaluer son potentiel allélopathique plus largement.

En conclusion, notre étude met en évidence l'effet allélopathique de l'extrait aqueux de *P. harmala* sur le taux de germination et la longueur de la partie aérienne du blé dur, de l'orge nue et de *Centaurea sp.* Ces résultats soulignent l'importance de comprendre et de prendre en compte l'effet potentiel des plantes allélopathiques dans la gestion des cultures agricoles et la préservation des écosystèmes naturels.

Résumé

Ce travail a été mené pour étudier l'effet allélopathique de l'extrait aqueux de *Peganum harmala* sur la germination et la longueur des parties aériennes du blé dur et de l'orge nue (monocotylédones), et de la *Centaurea sp* (dicotylédone), cette dernière est reconnue comme espèce problématique des céréales. Les feuilles *P. harmala* ont été séchées et broyées. L'expérimentation a été effectuée sous conditions contrôlées de température. Les traitements aqueux comprenaient C1 (1%), C2 (3%), C3 (5%), et C4 (7%) en poids des poudres de *P. harmala*. Un traitement témoin C0 (0%) a également été utilisé. Les paramètres mesurés comprenaient le taux de germination (TG), le temps moyen de germination (TMG), le pourcentage d'inhibition de la germination (IG), le pourcentage d'inhibition de la partie aérienne (ILPA), et la cinétique de germination (CG). Les données ont été analysées par ANOVA. Nos résultats démontrent que l'extrait aqueux de *P. harmala* a un effet significatif sur le TG et la LPA des espèces étudiées. Le TG et LPA les plus faibles, ont été obtenus avec C4 (7%). La centaurée s'est montrée la plus sensible aux effets allélopathique de *P. harmala* en comparaison avec le blé dur et l'orge nue. A la dose de C4 (7%), le TG dans *Centaurea* a atteint 5%, contre 20% dans l'orge et 76% dans le blé dur. Les LPA dans cette espèce s'annulent aux concentrations C3 (5%) et C4 (7%). La vitesse de germination exprimée par TMG a été retardée significativement dans *Centaurea sp* en comparaison avec le blé dur et l'orge nue. De même, aux concentrations C3 et C4, la cinétique de germination (CG) a été significativement affectée par l'effet allélopathique de *P. harmala* dans *Centaurea sp*, en comparaison avec les deux autres plantes.

Abstract

This study was conducted to investigate the allelopathic effect of the aqueous extract of *Peganum harmala* on the germination and shoot length of durum wheat and naked barley (monocotyledons), as well as *Centaurea sp* (dicotyledon), which is known as a problematic species for cereals. The leaves of *P. harmala* were dried and ground. The experimentation was carried out under controlled temperature conditions. The aqueous treatments included C1 (1%), C2 (3%), C3 (5%), and C4 (7%) by weight of *P. harmala* powder. A control treatment, C0 (0%), was also used. The measured parameters included germination rate (GR), mean germination time (MGT), percentage of germination inhibition (GI), percentage of shoot inhibition (SI), and germination kinetics (GK). The data were analyzed using ANOVA. Our results demonstrate that the aqueous extract of *P. harmala* has a significant effect on the GR and SI of the studied species. The lowest GR and SI were obtained with C4 (7%). *Centaurea sp* showed the highest sensitivity to the allelopathic effects of *P. harmala* compared to durum wheat and naked barley. At the C4 (7%) concentration, the GR in *Centaurea sp* reached 5%, compared to 20% in barley and 76% in durum wheat. The SI in this species was completely inhibited at concentrations C3 (5%) and C4 (7%). The germination speed, expressed as MGT, was significantly delayed in *Centaurea sp* compared to durum wheat and naked barley. Similarly, at concentrations C3 and C4, the germination kinetics (GK) were significantly affected by the allelopathic effect of *P. harmala* in *Centaurea sp* compared to the other two plants.

ملخص

تم تنفيذ هذا العمل لدراسة التأثير الأليلوباثي للمستخلص المائي من نبات الحرمل (*Peganum Harmala*) على إنبات وطول الأجزاء العلوية من القمح الصلب والشعير العاري (monocotyledons) ، و نبات النقار (*Centaurea sp* (dicotyledon)، الذي يعتبر من اشد أنواع الأعشاب الضارة على محاصيل الحبوب. تم تجفيف أوراق نبات الحرمل وسحقها. أجريت التجربة تحت ظروف درجة حرارة مضبوطة. تضمنت التراكيز التالية (1) C1 (، 3) C2 (، 5) C3 (، 7) C4 (بالوزن من مساحيق الحرمل. بالإضافة الى التركيز السالب C0 (0%). تضمنت المعايير التي تم قياسها معدل الإنبات (TG) ، متوسط وقت الإنبات (TMG) ، نسبة تثبيط الإنبات (GI) ، نسبة تثبيط الجزء العلوي (ILPA) ، حركية الإنبات (CG). تم تحليل البيانات بواسطة ANOVA. أظهرت نتائجنا أن المستخلص المائي لنبات الحرمل له تأثير معنوي على TG و LPA للأنواع المدروسة. تم الحصول على أقل TG و LPA باستخدام C4 (7%). كانت نبتة النقار هي الأكثر حساسية للتأثيرات الأليلوباثية لنبات الحرمل مقارنة بالقمح الصلب والشعير العاري. عند جرعة C4 (7) ، وصل TG في *Centaurea sp* إلى 5% ، مقابل 20% في الشعير و 76% في القمح الصلب. في حين تم التثبيط النهائي ل LPA في هذا النوع عند تراكيز C3 (5%) و C4 (7%). معدل الإنبات المعبر عنه بواسطة (TMG) تأخر معنويا في *Centaurea sp* مقارنة بالقمح الصلب والشعير العاري. وبالمثل ، عند تراكيز C3 و C4 ، تأثرت حركيات الإنبات بشكل معنوي بالتأثير الأليلوباثي لنبات *P. Harmala* في *Centaurea sp*، مقارنة بالنباتين الآخرين.

Références bibliographiques

- **Abbott, L.B., Bettmann, G.T., Sterling, T.M. 2008** Physiology and recovery of african rue (*Peganum harmala*) seedlings under water-deficit stress. *Weed Sci.*, 56, 52–57.
- **ACIA (Agence canadienne d'inspection des aliments)2006**-La biologie de *Triticum turgidum* ssp. durum (Blé dur),11p.
- **Agnieszka M., Andreas B., Stanislaw W.2016.** Comparative Proteomic Analysis Of B-Amino butyric Acid-Mediated Alleviation Of Salt Stress In Barley, *Plant Physiology and Biochemistry*, Volume 99, Pages 150-161
- **Antonio J., Roxana S. ET Gustavo A.2014.** Is Time To Flowering In Wheat And Barley Influenced By Nitrogen A Critical Appraisal of Recent Published Reports *European Journal of Agronomy*. Volume 54. March 2014. P: 40-46.
- **Arvalis, 2021** Guide de culture du blé dur en région Centre et Ile de France - Institut du végétal – 35p.
- **Aslam, M. M., Jamil, M., Malook, I., Khatoon, A., Rehman, A., Rahim, A., et al. 2016.** Phytotoxic effects of *Calotropis procera*, *Tamarix aphylla* and *Peganum harmala* on plant growth of wheat and mustard. *Pakistan J. Agric. Res.* 29, 43–52. doi: 10.1186/s40659-016-0084-5.
- **Baba Aissa F. 2000.** Encyclopédie des Plantes Utiles, Flore d’Algérie et du Maghreb, Substances Végétales d’Afrique, d’Orient et d’Occident. Vol. 46. Ed Librairie Modern; Rouiba, Algeria:
- **Bahlouli F., H. Bouzerzour, A. Benmahamed, KL. Hassous. 2005:** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum*Desf.) cultivars under semis arid conditions. *Pak.J. Agron.* 4: 360-365
- **Bahri M et Boukalkoul N.,2020-** *Centaurea melitensis* L: Profil chimique et activités biologiques Mémoire de master Univ L’Arbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi, 46p.
- **Barbottin A., C. Lecomte, C.Bouchard, M. Jeuffroy. 2005.** Nitrogen Remobilization during Grain Filling in Wheat. *Crop science*45:1141–1150.
- **Batish DR, Arora K, Singh HP, Kohli RK. 2007.** Potential utilization of dried powder of *Tagetes minuta* as a natural herbicide for managing rice weeds. *Crop Prot* 26:566–571
- **Belkherchouche H., S. Fellah, H. Bouzerzour, A. Benmahammed, N. Chellal. 2009.** Vigueur de la croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum*Desf.) sous conditions semi-arides. *Courrier du savoir*9:17-24.

- **Bellakhdar J. 1997.** La Pharmacop'ee Marocaine Traditionnelle. Medecine Arabe Ancienne et Savoirs Populaires. Ibis Press; Paris, France: pp. 529–530.
- **Benadjaoud A et Aid, 2004.** Effet de quelques traitements physico-chimiques et de la température sur la faculté germinative des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Annales de l'Institut National Agronomique EI-Harrach., Vol. 25, N°1 et 2, 2004
- **Benmeddour, 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. Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas – Sétif
- **Bitchagno GTM, El Bouhssini M, Mahdi I, Ward JL and Sobeh M. 2022.** Toward the Allelopathy of *Peganum* sp. and Related Chemical Constituents in Agriculture. *Front. Plant Sci.* 12:796103. doi: 10.3389/fpls.2021.796103
- **Bonjean, A., Picard, E., 1990.** Les céréales à paille: origine, histoire, économie, sélection. Softword– Groupe ITM, Paris, 208 p.
- **Bozzini A. 1988.** « Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. » Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACCC (Minnesota), États-Unis. p. 1-16.
- **Caussanel J. P., 1996.** Concurrence, compétition et nuisibilité des mauvaises herbes. 16ème Conférence du Columa sur la lutte contre les mauvaises herbes, Phytoma, 484 : 21-24.
- **Chiapusio G., Gallet C., Dobremez J.F et Pellissier F. 2002.** Composées allélopathiques : herbicides de demain. In Regnault-Roger C., Philogène B J.R et Vincent C. *Biopesticides d'origines végétales*. Ed Lavoisier. Paris.
- **Chung, I. M., K. H. Kim, J. K. Ahn, S. B. Lee, S. H. Kim and S. J. Hahn. 2003.** Allelopathy: Comparison of Allelopathic Potential of Rice Leaves, Straw and Hull Extracts on Barnyardgrass. *Agronomy Journal* 95:1063-1070.
- **Clarke, J.M., W.A. Norvell, F.R. Clarke et T.W. Buckley. 2002.** « Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. » *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 82:27-33.
- **Dadach, M. 2016.** Recherche des conditions optimales de la germination des graines de quelques labiées du mont de Tessala (Ouest Algérien) et perspectives de conservation. Thèse de doctor. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbas.
- **Deng, C., Shao, H., Pan, X., Wang, S., and Zhang, D. 2014.** Herbicidal effects of harmaline from *Peganum harmala* on photosynthesis of *Chlorella pyrenoidosa*: probed by chlorophyll fluorescence and thermoluminescence. *Pestic. Biochem. Physiol.* 115, 23–31. doi: 10.1016/j.pestbp.2014.08.002
- **Dhima, K. V., I. B. Vasilakoglou, I. G. Eleftherohorinos and A. S. Lithourgidis. 2006.** Allelopathic potential of winter cereal cover crop mulches on grass weed suppression and sugarbeet development. *Crop Science* 46:1682-1691.

- differentiation of the genus *Peganum* indigenous to China based on chloroplast trnL-F and
- **Duan, J.A.; Zhou, R.H.; Zhao, S.X.; Wang, M.S.; Che, C.T. 1998.** Studies on the chemical constituents of *Peganum multisectum* Maxim II. The alkaloids from seeds and antitumour activity. *J. Chin. Pharma. Univ.* 29, 21–23.
- **Farajollahi A., Tavili A., Gholinejad B., Darini J., Pouzesh H. 2013.** Investigation and Compare the Allelopathic Effects for Different Tissues of *Peganum harmala* in Different Amounts on the *Bromus tectorum* Germination and Growth Characteristics. *Ecopersia*, 1 (1), 53-62
- **Feillet P., 2000-** Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, paris : pp 23-25.
- **Fenni M. , 1991.** Contribution à l'étude des groupements messicoles des hautes plaines sétifiennes. Thèse de Mag. Univ.Ferhat Abbas, Sétif, 142p.
- **Fisher MJ., RC. Paton, K. Matsuno.1998.** Intracellular signaling proteins as smart agents in parallel distributed processes. *Bio-Systems*50: 159-171
- **Flaten O., Bakken K. EtRandby T., 2015.** The Profitability Of Harvesting Grass Silages At Early Maturity Stages: An Analysis Of Dairy Farming Systems In Norway. *Agricultural Systems*. Volume 136. P: 85-95.
- **Gabriela L., Daniel F. Calderini, Gustavo A. Slafer.2004.** Leaf Appearance, Tillering and Their Coordination In Old And Modern Barleys From Argentina, *Field Crops Research*, Volume 86, Issue 1, Pages 23-32
- **Godinho M., 1984 -** Les définitions " d'adventices " et de " Mauvaises herbes". *Weed Res.*, 24 (2) : 121-125p.
- **Goel N., Singh N., and Saini R. (2009)** Efficient in vitro multiplication of Syrian Rue (*Peganum harmala* L.) using 6 benzylaminopurine pre-conditioned seedling explants. *Nature and Science*. 7(7), 1545-0740.
- **Haig, T Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D et Verbeek, B. 1998.** Wheat allelopathic potential against an herbicide-resistant biotype annual ryegrass. In *Proceedings of the Australian Agronomy Conference*, Wagga, Australia (pp. 567–571).
- **Hakimi, 1993.** Les Systèmes Traditionnels Basés Sur La Culture De L'orge. *Porc. Symp. On The Agronomy of rainfed Barley and Durum Wheat In Dry Areas*. *J. Agri. Sci. Camb.* 108: 599-608
- **Halli L., Abaidi I. et Hacene N., 1996 -** Contribution à l'étude phénologique des adventices des cultures dans les stations INA (céréales), de l'ITGC (légumineuses) et de l'ITCMI (pomme de terre). Thèse Ing. INA, El Harrach, 86p.
- **Harborne JB, Turner BL. 1986-**The Biology and Chemistry of the Compositae. Academic Press, London, New York, San Francisco, 1: 411–433.
- **Henry Y., J. Buysier. 2000.**L'origine du blé. *Pour la Science* 26 :60-62.

- **Herraiz, T., Gonzalez, D., Ancin-Azpilicuetac, C., Aranb, V.J., Guillena, 2010.** H. β -Carboline alkaloids in *Peganum harmala* and inhibition of human monoamine oxidase (MAO). *Food Chem.Toxicol.* 48, 839–845
- **Hong NH, Xuan TD, Tsuzuki E, Terao H, Matsuo M, Khanh TD.** 2004. Weed control of four higher plant species in paddy rice fields in Southeast Asia. *J Agron Crop Sci* 190:59–64
- **Jussiaux P. & Pequignot R., 1962:** Mauvaises herbes: Techniques modernes de lutte. Ed. Maison rustique, Paris, 222p.
- **Kartal, M.; Altun, M.L.; Kurucu, S. 2003.** HPLC method for the analysis of harmol, harmalol, harmin and harmaline in the seeds of *Peganum harmala* L. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 31, 263–269.
- **Khan, A.M., Qureshi, R.A., Ullah, F., Gilani, S.A. 2011.** Phytotoxic effects of selected medicinal plants collected from Margalla Hills, Islamabad Pakistan. *J. Med. Plants Res.* 2011, 5, 4671–4675.
- **Khanh T.D., Xuan T.D., Hahn S.J., Chung I.M. 2004.** Methods to screen allelopathic accessions of wheat, barley, oat, sorghum and cucumber for weed control. *Allelopath J.* 14:145–166
- **Kobayashi K., 2004.** Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management* 4, 1-4.
- **Lafarge M.2000.** Phenotypes And The Onset Of Competition In Spring Barley Stands Of One Genotype: Daylength And Density Effects On Tillering, *European Journal Of Agronomy*, Volume 12, Issues 3–4, Pages 211-223.
- **Latif S., Chiapusio G., Weston L.A., 2016.** Allelopathy and the Role of Allelochemicals in Plant Defence, *Advances in Botanical Research*.
- **Li, S., Cheng, X., and Wang, C. 2017.** A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of the genus *Peganum*. *J. Ethnopharmacol.* 203, 127–162. doi: 10.1016/j.jep.2017.03.049
- **Lin D, Tsuzuki E, Dong Y, Terao H, Xuan TD. 2004.** Potential biological control of weeds in rice fields by allelopathy of dwarf lilyturf plants. *BioControl* 49:187–196
- **Longchamp R. , 1977.** Nuisibilité des mauvaises herbes. *Phytoma.* , 288 : 7-15.
- **Loomis R. S. & Connor D. J. , 1996.** Crop Ecology. Productivity and management in agricultural systems. Ed. Cambridge University Press, Great Britten, pp 42-52.
- **Machane Y,2008-**Efficacité des herbicides les plus utilisés dans la culture du blé dur, de la région de Sétif. Thèse de Mag.Univ.Ferhat Abbas, Sétif 78 p.
- **Marwat, S. K., & Rehman, F. ur. 2011.** Medicinal and Pharmacological Potential of Harmala (*Peganum harmala* L.) Seeds. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*, 585-599. doi:10.1016/b978-0-12-375688-6.10070-2
- **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.

- **Mccully K. Et R. Tremblay et G. Chiasson., 2004** - Guide de lutte intégrée contre les mauvaises herbes dans les cultures de fraises. Ministère de l’Agriculture, des Pêches et de l’Aquaculture du Nouveau Brunswick (MAPANB), 15 p.
- **Melakhessou ,Z . Demnati ,F. Boubaker ,Z ., 2020-** Diagnostic de la diversité des plantes adventices dans les agrosystèmes: cas des champs de blé dans les Aurès, Rev Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 89, articles, 2020, 39 – 54p.
- **Mguis k., Albouchi A., Ben Brahim N., 2011.** Effect of temperature and salinity on germination of *Ruta graveolens* L. *Acta Bot. Gallica* 158(4): 645-652.
- **Monsif H. R., Ghobadi A. and Iranshahi M. (2004)** Antinociceptive effects of *Peganum harmala* L. alkaloid extract on mouse formalin test. *J Pharm Pharmaceu Sci.* 7(1), 65- 69.
- **Montégut J. ,1980-**Que sont les mauvaises herbes des cultures? *Revue Cultivar, Spécial désherbage*, pp 18-47.
- **Mushtaq, W., & Siddiqui, M. B. 2018.** Allelopathy in Solanaceae plants. *Journal of Plant Protection Research*, 58(1), 1–7.
- **Parvez S, Parvez M, Fujii Y, Gemma H 2004.** Differential allelopathic expression of bark and seed of *Tamarindus indica* L. *Plant Growth Regul* 42:245–252
- psbA-trnH sequences and seed coat morphology. *Plant Biol. (Stuttg).* 13, 940–947.
- **Quezel, P et Santa, S. 1963.** Nouvelle flore de l’Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II. *Centre Nationale de la Recherche Scientifique.* Paris 7. 1170 P
- **Reinhardt CF, Bezuidenhout SR. 2001.** Growth stage of *Cyperus esculentus* influences its allelopathic effect on ectomycorrhizal and higher plant species. In: Kohli RK, Singh HP, Batish DR (eds) *Allelopathy in agroecosystems.* Food Products Press, Binghamton, pp 323–333
- **Rezzagui A.,2012-** Evaluation de l’effet toxique de l’extrait brut et de l’activité antioxydante des différents extraits des graines de *Peganum harmala* L. Mémoire de Magister Univ Ferhat Abass-Setif 78p.
- **Rice CW., MS. Smith. 1984.** Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of notill and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:295-29
- **Rice E.L. 1984.** Allelopathy. Academic Press, Orlando
- **Safir A., 2007-** Approche phénologique de quelques groupements d’adventices des cultures dans la région de Tipaza. 73p.
- **Sampietro D.A., Vattuone M.A. 2006.** Sugarcane straw and its phytochemicals as growth regulators of weed and crop plants. *Plant Growth Regul.* 48:21–27
- **Savin R., Slafer G., Cossani M., Abeledo G. Et Sadras V., 2015.** Chapter 7 – Cereal Yield In Mediterranean-Type Environments: Challenging The Paradigms On Terminal Drought. The Adaptability of Barley Vs Wheat And The Role Of Nitrogen Fertilization In Crop Physiology (Second Edition). Academic Press. San Diego. P: 141-158

- **Sergio N. Daneri-Castro, BirteSvensson, Thomas H. Roberts, 2016.** Barley Germination: Spatio-Temporal Considerations For Designing And Interpreting ‘Omics’ Experiments, *Journal Of Cereal Science*, Volume 70, Pages 29-37.
- **Shewry P., et Ullrich S., 2014.** Barley Second Edition, A Volume In American Associate Of Cereal Chemists International, Chemistry And Technology, Aacc International, Published By Elsevier Inc, United States Of America, 322p.
- **Simon Et Al, 1989.** Produire Les Céréales A Paille. Agriculture D’aujourd’hui, Science, Techniques, Applications Ed°. J.B.Baillière; P333.
- **Site 1 :** <https://www.grainscanada.gc.ca/fr/qualite-grains/guide-officiel-classement-grains/06-orge/classes-types-varietes.html> (Consulté le :27/06/2023).
- **Sodaeizadeh, H., Rafieiolhossaini, M., Havlik, J.; Damme, P.V. 2009.** Allelopathic activity of different plant parts of *Peganum harmala* L. and identification of their growth inhibitors substances. *Plant Growth Regul.*, 59, 227–236.
- **Sodaeizadeh, H., Rafieiolhossaini, M., van Damme, P. 2010.** Herbicidal activity of a medicinal plant, *Peganum harmala* L., and decomposition dynamics of its phytotoxins in the soil. *Ind. Crops Prod.*, 31, 385–394.
- **Soleymani A., 2017.** Light Response of Barley (*Hordeum Vulgare* L.) And Corn (*Zea Mays* L.) As Affected By Drought Stress, Plant Genotype And N Fertilization, *Biocatalysis And Agricultural Biotechnology*, Volume 11, Pages 1-8.
- **Soltner. D., 1990-** les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairie. Coll. Sciences et techniques agricoles. 17ème Ed.464p.
- **Sriman N D., Ankit T., Vinay K P., Ghanshyam V S.2018.** Effect Of Nitrogen LevelsAnd Its Time Of Application On Growth Parameters Of Barley (*Hordeumvulgare* L.). *Journal Of Pharmacognosy And Phytochemistry*: 7(1).Pp 333-338
- **Stanca A.M., Gianinetti A., Rizza F., Terzi V.2016.** Barley: An Overview Of A Versatile Cereal Grain With Many Food And Feed Uses, In Reference Module In Food Science, Elsevier
- **Tanji A. et El Mejahed K.,2004-**Les adventices et leur contrôle dans les céréales d'automne non irriguées dans la partie nord du périmètre du radl Institut National de la Recherche Agronomique, BP -s89 Settat, Maro AL AWAMIA 109-110. Vol. 1-2.
- **Trabsa H.,2011-**Proprietes antioxydantes et activité inhibitrice de la xanthine oxydase des extraits de la plante médicinale *Peganum harmala* L. Univ Mohammed Kheider Biskra 69 p.
- **Trease GE et Evans WC.1983-**Textbook of Pharmacognosy. 12th edn. Balliese Tindall and Company Publisher, London. 12: pp .224- 514.
- **Wardle DA, Nicholson KS, Ahmad M. 1992.** Comparison of osmotic and allelopathic effects of grass leaf extracts on grass seed germination and radical elongation. *Plant Soil* 140:315–319
- **Weston LA, Duke SO. 2003.** Weed and crop allelopathy. *Crit Rev Plant Sci* 22:367

- **Xuan TD, Shinkichi T, Hong NH, Khanh TD, Min CI. 2004.** Assessment of phytotoxic action of *Ageratum conyzoides* L. (billy goat weed) on weeds. *Crop Prot* 23:915–922
- **Xuan TD, Shinkichi T, Khanh TD, Chung IM. 2005.** Biological control of weeds and plant pathogens in paddy rice by exploiting plant allelopathy: an overview. *Crop Prot* 24:197–206
- **Xuan TD, Tsuzuki E. 2004.** Allelopathic plants: Buckwheat (*Fagopyrum* spp.). *Allelopath J.* 13:137–148
- **Zhao, T.; Wang, Z.T.; Branford-White, C.J.; Xu, H.; Wang, C.H. 2011.** Classification and

Annexe

Tableau 8. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur le taux de germination du blé dur (effet significatif à $p < 0,05$)

Echantillon1-Echantillon2	Statistique de test	Erreur standard	Std. Statistique de test	Sig.	Sig.ajus.
C4-C3	1.250	4.088	.306	.760	1.000
C4-C1	5.625	4.088	1.376	.169	1.000
C4-C2	8.125	4.088	1.988	.047	.469
C4-CO	13.125	4.088	3.211	.001	.013
C3-C1	4.375	4.088	1.070	.285	1.000
C3-C2	6.875	4.088	1.682	.093	.926
C3-CO	11.875	4.088	2.905	.004	.037
C1-C2	-2.500	4.088	-.612	.541	1.000
C1-CO	7.500	4.088	1.835	.067	.665
C2-CO	5.000	4.088	1.223	.221	1.000

Chaque ligne teste l'hypothèse nulle que les distributions de l'échantillon 1 et de l'échantillon 2 sont identiques.

Les significations asymptotiques (test bilatéraux) sont affichées. Le niveau de signification est .05.

Tableau 9. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur le taux de germination de l'orge nue (effet significatif à $p < 0,05$)

Echantillon1-Echantillon2	Statistique de test	Erreur standard	Std. Statistique de test	Sig.	Sig.ajus.
C4-C3	5.750	4.141	1.389	.165	1.000
C4-C2	9.375	4.141	2.264	.024	.236
C4-CO	10.625	4.141	2.566	.010	.103
C4-C1	11.750	4.141	2.838	.005	.045
C3-C2	3.625	4.141	.875	.381	1.000
C3-CO	4.875	4.141	1.177	.239	1.000
C3-C1	6.000	4.141	1.449	.147	1.000
C2-CO	1.250	4.141	.302	.763	1.000
C2-C1	2.375	4.141	.574	.566	1.000
CO-C1	-1.125	4.141	-.272	.786	1.000

Chaque ligne teste l'hypothèse nulle que les distributions de l'échantillon 1 et de l'échantillon 2 sont identiques.

Les significations asymptotiques (test bilatéraux) sont affichées. Le niveau de signification est .05.

Tableau 10. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur le taux de germination de *Centaurea sp* (effet significatif à $p < 0,05$)

Echantillon1-Echantillon2	Statistique de test	Erreur standard	Std. Statistique de test	Sig.	Sig.ajus.
C4-C3	3.250	4.163	.781	.435	1.000
C4-C2	4.500	4.163	1.081	.280	1.000
C4-C1	11.000	4.163	2.642	.008	.082
C4-CO	13.750	4.163	3.303	.001	.010
C3-C2	1.250	4.163	.300	.764	1.000
C3-C1	7.750	4.163	1.862	.063	.626
C3-CO	10.500	4.163	2.522	.012	.117
C2-C1	6.500	4.163	1.561	.118	1.000
C2-CO	9.250	4.163	2.222	.026	.263
C1-CO	2.750	4.163	.661	.509	1.000

Chaque ligne teste l'hypothèse nulle que les distributions de l'échantillon 1 et de l'échantillon 2 sont identiques.

Les significations asymptotiques (test bilatéraux) sont affichées. Le niveau de signification est .05.

Tableau 11. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extrait de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) du blé dur (effet significatif à $p < 0,05$)

Echantillon1-Echantillon2	Statistique de test	Erreur standard	Std. Statistique de test	Sig.	Sig.ajus.
C2-C3	-2.021	18.876	-.107	.915	1.000
C2-C4	-6.506	18.876	-.345	.730	1.000
C2-C1	11.489	15.586	.737	.461	1.000
C2-CO	127.996	15.274	8.380	.000	.000
C3-C4	-4.485	19.647	-.228	.819	1.000
C3-C1	9.468	16.511	.573	.566	1.000
C3-CO	125.975	16.217	7.768	.000	.000
C4-C1	4.983	16.511	.302	.763	1.000
C4-CO	121.491	16.217	7.491	.000	.000
C1-CO	116.508	12.231	9.525	.000	.000

Chaque ligne teste l'hypothèse nulle que les distributions de l'échantillon 1 et de l'échantillon 2 sont identiques.

Les significations asymptotiques (test bilatéraux) sont affichées. Le niveau de signification est .05.

Tableau 12. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) de l'orge nue (effet significatif à $p < 0,05$)

Echantillon1-Echantillon2	Statistique de test	Erreur standard	Std. Statistique de test	Sig.	Sig.ajus.
C3-C4	-18.635	22.126	-.842	.400	1.000
C3-C2	21.847	18.066	1.209	.227	1.000
C3-CO	83.226	16.052	5.185	.000	.000
C3-C1	131.818	15.847	8.318	.000	.000
C4-C2	3.212	20.599	.156	.876	1.000
C4-CO	64.590	18.857	3.425	.001	.006
C4-C1	113.183	18.683	6.058	.000	.000
C2-CO	61.379	13.871	4.425	.000	.000
C2-C1	109.971	13.633	8.067	.000	.000
CO-C1	-48.592	10.823	-4.490	.000	.000

Chaque ligne teste l'hypothèse nulle que les distributions de l'échantillon 1 et de l'échantillon 2 sont identiques.

Les significations asymptotiques (test bilatéraux) sont affichées. Le niveau de signification est .05.

Tableau 13. Test de Dunn- Bonferroni de la comparaison par paires de groupes de l'effet des différents traitements de l'extraits de *P. harmala* sur la longueur de la partie aérienne (LPA) de *Centaurea sp* (effet significatif à $p < 0,05$)

Echantillon1-Echantillon2	Statistique de test	Erreur standard	Std. Statistique de test	Sig.	Sig.ajus.
C2-CO	42.202	8.299	5.085	.000	.000
C2-C1	51.828	8.646	5.994	.000	.000
CO-C1	-9.625	6.978	-1.379	.168	1.000

Chaque ligne teste l'hypothèse nulle que les distributions de l'échantillon 1 et de l'échantillon 2 sont identiques.

Les significations asymptotiques (test bilatéraux) sont affichées. Le niveau de signification est .05.