

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

Université Kasdi Merbah – Ouargla

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat en sciences agronomiques

Thème

Étude des effets de la salinité sur la croissance,
la synthèse des métabolites secondaires et la
composition minérale chez *Peganum harmala* L.

Présenté par : SARIDI Abdelkader

Soutenu le 24 Juin 2024

Devant le jury de soutenance composé de :

Nom	Prénom	Grade	Etablissement universitaire	Qualité
BOUAFIA	Samia	Pr	Université Kasdi Merbah	Présidente
OUINTEN	Mohamed	Pr	Université Téliidji Amar, Laghouat	Directeur de Thèse
YOUSFI	Mohamed	Pr	Université Téliidji Amar, Laghouat	Co-Directeur de Thèse
DJERROUDI-ZIDANE	Ouiza	MCA	Université Kasdi Merbah	Examinatrice
HADJADJ	Soumia	Pr	Université Kasdi Merbah	Examinatrice
KRAIMAT	Mohamed	MCA	Université Ghardaïa	Examinateur

Année universitaire : 2023/2024

الإهداء

بعد الشناء والشكر للواحد الديان والصلاة والسلام
على خير ولد عدنان ، فإنه من دواعي
السُّرور أن أهدي ثمرة هذه الصور، إلى رجال
بأكناف بيت المقدس قائمين وعلى
الحق ضاهرين ولعدوهم قاهرين، رجال القسام أباة
الضيم والاستسلام، ثم إلى الوالدان تاج الراس المصان،
والزوجة مهجة الجنان، والأولاد قررة العينان،
والإخوة سنة الزمان. راجيا من المولى
القدير أن تكون هذه الأحرف للقبول من
الله فائزة وللحسنة حائزة وللعشيرة حاجزة.

سريدي عبدالقادر

Remerciement

Mon premier remerciement à DIEU, de m'avoir donné du courage, de l'énergie, de la force, de la patience pour bien accomplir ce travail.

*Je tiens à remercier infiniment le directeur de thèse Prof. **OUINTEN Mohamed** et le co-directeur de ma thèse, Prof. **YOUSFI Mohamed**, professeurs à l'Université Amar Telidji - Laghouat, qui ont accepté à leur honneur de superviser et de suivre cette thèse, ainsi que pour leur aide et leurs précieux conseils ;*

Mes sincères remerciements et ma gratitude aux membres du jury :

*Madame **BOUAFIA Samia**, Professeur à l'Université de Ouargla, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse ;*

*Madame **HADJADJ Soumia**, Professeur à l'Université de Ouargla, pour avoir accepté de juger et de commenter ce travail ;*

*Madame **DJERROUDI-ZIDANE Ouiza**, Maître de conférences A, à l'Université de Ouargla, pour avoir accepté de juger et de commenter ce travail ;*

*Monsieur **KRAIMAT Mohamed**, Maître de conférences A, à l'Université de Ghardaïa, pour avoir accepté de juger et de commenter ce travail ;*

*Je voudrais exprimer ma plus sincère gratitude à mes collègues **AMEUR Djamil**, **MALLEM Hamida** et **MARFOUA Meriem** pour leur aide illimitée, et qui a permis à cette thèse de se dérouler dans les meilleures conditions.*

*Je tiens à remercier Monsieur **MECHRAOUI Chouaib**, Madame **RANNANE Zohra** et Madame **AZOUAOU Karima** pour leurs aides ;*

*Mes remerciements vont également à Monsieur **HARRATH Mohamed** de m'avoir aidé dans le laboratoire de recherche ;*

*Je tiens à remercier le personnage de **CRAPC Laghouat**, et en particulier Monsieur **SENOUSSI Larbi** qui m'a aidé de faire les travaux d'analyse, et a permis à cette thèse de se dérouler dans les meilleures conditions.*

*Mention spéciale à Monsieur **BOUBRIMA Youssef** pour son soutien pendant mes périodes de doutes et pour leur multiple encouragement répété ;*

*J'adresse toute ma gratitude à tous et à toutes les étudiant(e)s qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail, et spécialement : **BARGUI Batoul**, **AGGOUN Khaoula**, **CHENNOUF Oum El Khair khadidja**, **NACIRI Khadidja**, **CHENAFI Nourelhouda** ;*

Mes vifs remerciements sont adressés à mes collègues de département de biologies, d'agronomies, de chimies, et les ingénieurs des laboratoires ;

Les mots les plus simples sont les plus forts, je m'adresse avec toute mon affection à ma famille, en particulier à ma chère épouse et à mes chers enfants qui ont supporté une partie de la charge de travail ;

Enfin je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Saridi Abdelkader

Étude des effets de la salinité sur la croissance, la synthèse des métabolites secondaires et la composition minérale chez *Peganum harmala* L.

Résumé

Cette thèse a été consacrée à l'étude de *Peganum harmala* L., une plante à large portée géographique. Elle est très riche en alcaloïdes et largement connue en phytothérapie populaire à l'échelle mondiale. La plante connaît un intérêt grandissant, répondant à divers besoins humains. Ces applications potentielles incluent l'alimentation humaine et animale, le développement de traitements médicaux, ainsi que l'exploitation de sa capacité d'adaptation aux sols salins, un atout précieux face à la salinisation croissante des terres agricoles.

Ce travail vise à étudier les effets de la salinité sur le comportement physiologique et biochimique de *P. harmala* L., afin d'évaluer son potentiel d'exploitation en milieu salin. Notre recherche, structurée en cinq phases, a débuté par la collecte d'échantillons de sol et de plantes sur quatre sites géographiques, permettant l'extraction des alcaloïdes et l'identification des minéraux. Nous avons ensuite évalué la qualité de ces alcaloïdes dans les sols salins et non salins, en examinant leurs effets antibiotiques et allélopathiques. L'étude s'est poursuivie avec des essais comparatifs de germination, tant in vitro qu'en semis direct, utilisant différentes concentrations de chlorure de sodium. Enfin, nous avons examiné le comportement physiologique et les paramètres de croissance du Harmel sous diverses conditions salines. Cette approche méthodique nous a permis d'évaluer de manière approfondie l'adaptation de *P. harmala* L. aux environnements salins et son potentiel d'utilisation dans ces conditions, offrant ainsi une perspective complète sur les capacités de cette espèce face au stress salin.

Les résultats de notre étude ont révélé que *P. harmala* L. est une plante halophyte tolérante au sel. Sa croissance et sa capacité à produire des alcaloïdes ne sont pas affectées négativement par l'excès de chlore et de sodium dans le sol. Au contraire, la production d'alcaloïdes augmente dans un environnement riche en chlorure de sodium, particulièrement lorsque le milieu présente une teneur élevée en calcium. La qualité des alcaloïdes reste constante malgré des niveaux élevés de chlorure de sodium. Les effets biologiques des extraits de Harmel provenant de sols salins sont souvent égaux, voire supérieurs, à ceux des sols non salins. Par exemple, chez les espèces fongiques, nous avons observé une zone d'inhibition de 6,37 mm pour *Alternaria* sp dans un site non salin, contre 12,37 mm dans un site salin. Pour les espèces bactériennes, *Salmonella typhi* a montré une zone d'inhibition de 5,03 mm dans le site non salin, contre 10,14 mm dans le site salin. L'extrait de feuille de Harmel s'est révélé être un bioherbicide efficace, particulièrement sur les dicotylédones, même lorsqu'il provient de sols salins. La faculté germinative des graines varie selon leur origine géographique : 46,5% pour la région de Djelfa contre 70% pour celle de Laghouat. La salinité affecte négativement le délai et le taux de germination. Le taux de germination diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration en NaCl. La germination est importante pour les concentrations de chlorure de sodium oscillant entre 0 et 1 g/l, elle atteignant un niveau très faible (5%) à 5 g/l et devenant nul au-delà de 8 g/l. La croissance de cette espèce n'est possible qu'à des concentrations de NaCl inférieures à 3 g/l.

En conclusion, cette étude fournit des critères importants pour la sélection de terrains ou d'eaux d'irrigation dans le cadre de programmes de mise en valeur des zones arides et semi-arides. En introduisant *P. harmala* L. comme une culture potentiellement adaptée aux conditions de salinité croissante qui menacent les terres agricoles.

Mots clés : alcaloïde, origine géographique, activité antibiotique, activité herbicide, germination, croissance, *Peganum harmala* L., salinité, NaCl

Study of the effects of salinity on growth, secondary metabolites synthesis and mineral composition in *Peganum harmala* L.

Abstract

This thesis was dedicated to the study of *Peganum harmala* L., a plant with a wide geographical range. It is very rich in alkaloids and widely known in popular phytotherapy on a global scale. The plant is experiencing growing interest, responding to various human needs. These potential applications include human and animal nutrition, the development of medical treatments, as well as the exploitation of its ability to adapt to saline soils, a valuable asset in the face of increasing salinization of agricultural lands.

This work aims to study the effects of salinity on the physiological and biochemical behavior of *P. harmala* L., in order to evaluate its potential for exploitation in saline environments. Our research, structured in five phases, began with the collection of soil and plant samples from four geographical sites, allowing for the extraction of alkaloids and identification of minerals. We then assessed the quality of these alkaloids in saline and non-saline soils, examining their antibiotic and allelopathic effects. The study continued with comparative germination trials, both in vitro and through direct seeding, using various concentrations of sodium chloride. Finally, we examined the physiological behavior and growth parameters of Harmel under different saline conditions. This methodical approach allowed us to comprehensively assess the adaptation of *P. harmala* L. to saline environments and its potential for use under these conditions, thus providing a complete perspective on the capabilities of this species in the face of salt stress.

Our study results revealed that *P. harmala* L. is a salt-tolerant halophyte. Its growth and ability to produce alkaloids are not affected by excess chlorine and sodium in the soil. On the contrary, alkaloid production increases in an environment rich in sodium chloride, particularly when the medium has a high calcium content. The quality of the alkaloids remains constant despite high levels of sodium chloride. The biological effects of Harmel extracts from saline soils are often equal to or greater than those from non-saline soils. For example, in fungal species, we observed an inhibition zone of 6.37 mm for *Alternaria* sp in a non-saline site, compared to 12.37 mm in a saline site. For bacterial species, *Salmonella typhi* showed an inhibition zone of 5.03 mm in the non-saline site, versus 10.14 mm in the saline site. Harmel leaf extract proved to be an effective bioherbicide, particularly on dicotyledons, even when sourced from saline soils. The germination capacity of seeds varies according to their geographical origin: 46.5% for the Djelfa region compared to 70% for the Laghouat region. Salinity negatively affects both germination time and rate. The rate of germination decreased progressively with increasing NaCl concentration. The germination is important for concentration of sodium chloride wobbling between 0 and 1 g/l, her reaching a very low level (5 %) in 5 g/l and becoming no beyond 8 g/l. The growth of this species is only possible at NaCl concentrations below 3 g/l.

In conclusion, this study provides important criteria for selecting land or irrigation water in programs aimed at developing arid and semi-arid zones. By introducing *P. harmala* L. as a potentially suitable crop for the increasing salinity conditions that threaten agricultural lands.

Keywords: alkaloid, geographical origin, antibiotic activity, herbicidal activity, germination, growth, *Peganum harmala* L., salinity, NaCl

دراسة تأثيرات الملوحة على النمو، تصنيع المستقلبات الثانوية والتركيب المعدني لدى *Peganum harmala L.*

ملخص

خصصت هذه الأطروحة لدراسة *Peganum harmala L.* ، وهو نبات ذو نطاق جغرافي واسع. وهو غني جدا بالقلويدات ومعروف على نطاق واسع في طب الأعشاب الشعبي في جميع أنحاء العالم. يشهد اهتماما متزايدا، بالبحث عن موارد جديدة لتلبية مختلف الاحتياجات البشرية. وتشمل هذه التطبيقات المحتملة الغذاء والأعلاف، وتطوير العلاجات الطبية، فضلا عن استغلال قدرته على التكيف مع التربة المالحة، وهو رصيد قيم في مواجهة الملوحة المتزايدة للأراضي الزراعية.

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الملوحة على السلوك الفسيولوجي والكيميائي الحيوي لنبات *P. harmala L.* ، من أجل تحديد إمكانية استغلاله في بيئة مالحة. بدأ بحثنا، المهيكّل في خمس مراحل، بجمع عينات التربة والنبات من أربعة مواقع جغرافية، مما يسمح باستخراج قلويدات وتحديد المعادن. قمنا بعد ذلك بتقييم نوعية هذه القلويدات في التربة المالحة وغير المالحة، من خلال فحص آثارها على المضادات الحيوية والمضادات البيئية. واستمرت الدراسة بإجراء اختبارات الإنبات المقارنة سواء في المختبر أو في الزراعة المباشرة باستخدام تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم. أخيراً، قمنا بفحص السلوك الفسيولوجي ومعالم نمو الحرمل في ظل مختلفة الظروف المالحة. سمح لنا هذا المسلك المنهجي بتقييم تأقلم *P. harmala L.* مع البيئات المالحة وإمكانية استخدامه في ظل هذه الظروف، وبالتالي تقديم منظور كامل حول قدرات هذا النوع في مواجهة الإجهاد الملحي.

كشفت نتائج دراستنا أن *P. harmala L.* نبات ملحي يتحمل الملح، لا يتأثر نموه ولا قدرته على إنتاج القلويدات سلبا بالكلور والصوديوم الزائدين في التربة. على العكس من ذلك ، يزداد إنتاج القلويدات في بيئة غنية بكلوريد الصوديوم ، خاصة عندما يحتوي الوسط على نسبة عالية من الكالسيوم. تظل جودة القلويدات ثابتة على الرغم من ارتفاع مستويات كلوريد الصوديوم، وغالبا ما تكون التأثيرات البيولوجية لمستخلصات الحرمل من التربة المالحة مساوية أو حتى أكبر من تلك الموجودة في التربة غير المالحة. حيث سجلنا على سبيل المثال، عند بعض الفطريات، منطقة تثبيط تبلغ 6.37 مم لدى *Alternaria sp* في موقع غير مالح (موقع 1)، مقارنة بـ 12.37 مم في موقع مالح (موقع 2). بينما بالنسبة للبكتيريا، أظهرت *Salmonella typhi* منطقة تثبيط تبلغ 5.03 ملم في الموقع غير المالح، مقارنة بـ 10.14 ملم في الموقع المالح. ثبت أن مستخلص أوراق الحرمل مبيد أعشاب حيوي فعال ، خاصة على ثنائيات الفلقة، حتى لو كان مصدره من تربة مالحة. وتختلف قدرة إنبات البذور حسب أصلها الجغرافي: 46.5٪ لمنطقة الجلفة مقابل 70٪ لمنطقة الأغواط. تؤثر الملوحة سلبا على وقت ومعدل الإنبات. ينخفض معدل الإنبات تدريجيا مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم، يعتبر الإنبات جيدا لتراكيز كلوريد الصوديوم المتراوحة من 0 إلى 1 غ / ل، يصل إلى مستوى منخفض جدا (5٪) عند 5 غ / ل ويصبح منعما فوق 8 غ / ل. أيضا، نمو هذا النوع ممكن فقط أقل من 3 غ / ل من كلوريد الصوديوم.

وفي الختام، توفر هذه الدراسة معايير هامة لاختيار الأراضي أو مياه الري في سياق برامج تنمية الأراضي القاحلة وشبه القاحلة. من خلال إدخال *P. harmala L.* كمحصول يمكن أن يتكيف مع ظروف زيادة الملوحة التي تهدد الأراضي الزراعية

الكلمات المفتاحية: قلويد، الأصل الجغرافي، نشاط التضاد الحيوي، نشاط المبيد العشبي، إنبات، نمو، *P. harmala L.* ، الملوحة ، NaCl

LISTE DES TABLEAUX

Numéro et titre de tableau	Page
Tableau 01 : Classification française des sols salins	8
Tableau 02 : Caractéristiques chimiques des sols salins, non salin sodique et salin sodique	9
Tableau 03 : Principaux ions présents dans l'eau d'irrigation	10
Tableau 04 : Classification des eaux salines	12
Tableau 05 : Tolérance relative au sel des cultures	15
Tableau 06 : Les noms vernaculaires de <i>Peganum harmal</i> en différentes langue	19
Tableau 07 : La systématique de <i>Peganum harmala</i> L.	20
Tableau 08 : Liste des synonymes de <i>P. harmala</i> L.	21
Tableau 09 : La répartition géographique de différentes espèces de genre <i>Peganum</i>	25
Tableau 10 : Liste des composés chimiques détectés selon l'organe de la plante, chez <i>P. harmala</i>	27
Tableau 11 : Les composés chimiques détectés dans les graines de <i>P. harmala</i>	28
Tableau 12 : Les teneurs des composées volatiles chez le <i>P. harmala</i>	30
Tableau 13 : Classes de lipides révélés dans des graines de <i>P. harmala</i>	31
Tableau 14 : Composition en acides gras des lipides contenant des acyles de l'huile de graines de <i>P. harmala</i>	31
Tableau 15 : Les proportions des acides gras de l'huile du Harmel	32
Tableau 16 : La composition chimique de <i>P. harmala</i> en alcaloïdes	33
Tableau 17 : La dynamique d'accumulation des alcaloïdes durant les phases de développement de <i>P. harmala</i>	36
Tableau 18 : Pourcentages (%) des alcaloïdes dérivés de quinazoline chez <i>P. harmala</i>	37
Tableau 19 : Effet de l'extrait aqueux et alcoolique de la plante de Harmal sur la croissance de certaines bactéries	47
Tableau 20 : Doses létales selon le comportement des organes et des animaux, expérimental aux alcaloïdes β -carbolines les plus importants.	58
Tableau 21 : Résultats du calcul de la cytotoxicité des extraits aqueux et alcooliques de feuilles de Harmal.	59
Tableau 22 : Les coordonnées géographiques des sites d'échantillonnés	63

Tableau 23 : Les paramètres édaphiques des sites d'échantillonnés	68
Tableau 24 : Les paramètres physiologiques des échantillons végétaux	69
Tableau 25 : La quantité des minéraux en fonction des sites et des organes du végétale (% MS)	70
Tableau 26 : Liste des espèces bactériennes étudiées	82
Tableau 27 : Liste des espèces fongiques étudiées	82
Tableau 28 : La zone d'inhibition (mm) des espèces fongiques sous l'influence des alcaloïdes de <i>P. harmala</i> .	84
Tableau 29 : La zone d'inhibition (mm) des espèces bactériennes sous l'influence des alcaloïdes de <i>P. harmala</i>	86
Tableau 30 : Le pourcentage de germination de l'avoine sous l'effet des facteurs étudiés	97
Tableau 31 : Le pourcentage de germination du brome sous l'effet des facteurs étudiés	97
Tableau 32 : Le pourcentage de germination de l'ive sous l'effet des facteurs étudiés	98
Tableau 33 : Le pourcentage de germination du coringia sous l'effet des facteurs étudiés	99
Tableau 34 : Le pourcentage de germination du blé sous l'effet des différents facteurs	99
Tableau 35 : Composition en éléments minéraux de l'eau de l'irrigation utilisée	105
Tableau 36 : Les paramètres physiques et chimiques de différentes solutions	105
Tableau 37 : L' effet de la source de la semence sur la faculté de germination	108
Tableau 38 : Les temps et les pourcentages de germination en semis direct	108
Tableau 39 : La hauteur des plants « cm » à différentes concentrations de NaCl	120
Tableau 40 : Le nombre des feuilles par plants à différentes concentrations de NaCl	121
Tableau 41 : Le poids frais aérien des plants à différentes concentrations de NaCl	121

LISTE DES FIGURES

Numéro et titre de figure	Page
Figure 01 : Zones de taux relatifs de tolérance au sel des cultures agricoles	13
Figure 02 : Plante entière de <i>P. harmala</i> (a : vue lointaine, b : vue rapprochée)	21
Figure 03 : La feuille de <i>P. harmala</i>	22
Figure 04 : La fleur de <i>P. harmala</i>	23
Figure 05 : Le diagramme floral de <i>P. harmala</i>	23
Figure 06 : Le fruit (a) et les graines (b) de <i>P. harmala</i>	24
Figure 07 : Carte de répartition de <i>P. harmala</i> L. (zones colorées) sur les territoires biogéographiques d'Algérie	26
Figure 08 : Piège à racines oxydé aux flavonoïdes	28
Figure 09 : Synthèse des β -carbolines du Harmel et de la sérotonine à partir du Tryptophane	35
Figure 10 : Structure générale des Quinazolines du Harmel	35
Figure 11 : La formule chimique d'harmaline	37
Figure 12 : La formule chimique d'harmine	38
Figure 13 : La formule chimique d'harmol.	38
Figure 14 : La formule chimique d'harmalol	38
Figure 15 : La formule chimique d'harmane	39
Figure 16 : Situation géographique des quatre sites échantillonnés	64
Figure 17 : Des organes végétaux de Harmel (feuille-fleur-tige) séparés	65
Figure 18 : L'ensemble des échantillons de la poudre végétale des quatre sites et les quatre organes (graine-feuille-fleur-tige)	65
Figure 19 : Procédure d'extraction des alcaloïdes de <i>P. harmala</i>	67
Figure 20 : Les résultats de dosage de proline (a) et de sucre (b) chez les quatre échantillons du Harmel	69
Figure 21 : Les teneurs des alcaloïdes par site et par organe	70
Figure 22 : Le rapport entre Na^+ et les autres minéraux en fonction des sites et des organes végétales	72
Figure 23 : Des échantillons représentant l'activité antibactérienne (gauche) et antifongique (droite) de l'extrait <i>P. harmala</i>	83
Figure 24 : Les différents fruits et graines des espèces adventices étudiées	91

Figure 25 : Préparation de l'extrait du Harmel sous pression	92
Figure 26 : Préparation d'extraction par l'eau distillée et par le méthanol	93
Figure 27 : Application d'extraits sur les graines	94
Figure 28 : Schéma du dispositif expérimental des extraits de <i>P. harmala</i>	95
Figure 29 : Le témoin d'une espèce non traitée par les extraits du Harmel	96
Figure 30 : Une espèce traitée par les trois extraits du Harmel	96
Figure 31 : Dispositif expérimental du premier essai	106
Figure 32 : Dispositif expérimental du deuxième essai	107
Figure 33 : Schéma du dispositif expérimental du deuxième essai	107
Figure 34 : Le pourcentage de germination selon la dose en NaCl en semis direct	109
Figure 35 : L'effet du taux en NaCl sur le pouvoir germinatif <i>in vitro</i>	110
Figure 36 : Dispositif expérimental de la croissance de <i>P. harmala</i> .	117
Figure 37 : Schéma du dispositif expérimental de la croissance de <i>P. harmala</i>	117
Figure 38 : Les plants de <i>P. harmala</i> après 20 jours de traitement à NaCl	119
Figure 39 : Une plantule témoin de <i>P. harmala</i>	119

LISTE DES ABBREVIATIONS

Symbole	Signification
Ac	<i>Aspergillus carbonarius</i>
Af	<i>Aspergillus flavus</i>
AJ	<i>Aspergillus sp</i>
alc.tot	Alcaloïde total (feuille+ fleur + tige)
Ao	<i>Aspergillus ochraceus</i>
AS1, AS2, AS3	L'atlas saharien
B	Site 4 – Boughezoul
BC	<i>Bacillus cereus</i>
BL	Besoin de lessivage
C.E_e	La conductivité électrique de l'extrait aqueux de sols saturés en eau, à 25°C
C.E_w	La conductivité électrique de l'eau
C10	<i>Candida albicans</i>
CI	Concentration Inhibitrice
CMI	Concentration Minimale Inhibitrice
D1	La première date : 1 jour après le traitement
D2	La deuxième date : 7 jours après le traitement
D3	La troisième date : 15 jours après le traitement
DL50	La Dose Létale à 50%
E1	Brome ; <i>Bromus pinnatus</i>
E2	Coringia; <i>Conringia orientalis</i> (L.) Andr
E3	Folle avoine ; <i>Avena fatua</i> L.
E4	Ive ; <i>Ajuga chamaepitys</i> Schreber
ED	L'extraction eau distillée
ESP	(<i>Exchangeable sodium percentage</i>) le pourcentage de sodium échangeable
f	Feuille
f.alc	Alcaloïde des feuilles
FL	Fleur
FL.alc	Alcaloïde des fleurs
g	Graine
g.alc	Alcaloïde des graines
H1 et H2	Le Secteur des Hauts Plateaux

HPLC	Chromatographie en phase liquide à haute performance
J	Site 2 - Hadjer El Melh
LR	<i>Lessivage ration</i>
M	L'extraction méthanolique
MAO	Neurotransmetteur monoamine
MC	<i>Micrococcus luteus</i>
MS	Matière sèche
N	Site 3 - Bennacer Benchohra
O1, O2, O3	Le secteur oranais
OMS	Organisation mondiale de la santé
P mm/an	Précipitation en millimètre/ an
P/ET	Précipitation / évapotranspiration
PA	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Pr	Proline
R	<i>Alternarai sp</i>
R1, R2 et R3	Répétitions
S	Site 1 – El assafia
SA	<i>Staphylococcus aureus</i>
SAR	"Sodium adsorption ratio"
SC	Sahara central
Sc	Sucre
SM	<i>Salmonella typhi</i>
SP	L'extraction sous pression (
SS1 et SS2	Sahara septentrional
T	Tige
T.alc	Alcaloïde des tiges
T0 à T10	Traitements
TDS	La quantité totale de sels dissous
V	<i>Penicillium expansum</i>

TABLE DES MATIERES

Dédicace
Remercîment
Résumé
ملخص
Abstract
Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des abréviations
Table des matières

Titre	Page
Introduction	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : LA SALINITE : les causes, les effets et les solutions	
I.1. DEFINITION	6
I.2. LES RISQUES DE SALINITE	6
I.3. ORIGINES ET CAUSES DE SALINITE	7
I.3.1. Les sols salés	7
I.3.2. Les eaux salines	9
I.3.2.1 Ressources des eaux salines	9
I.3.2.2. Composition et concentration en sels solubles	10
I.3.2.3. Critères de qualité et de classification des eaux salines	10
I.4. LA CLASSIFICATION DES PLANTES VISE A VIS DE LA SALINITE	14
I. 5. IMPORTANCE DES HALOPHYTES	16
CHAPITRE II : LINEATURE DE <i>Peganum harmala</i> L.	
II .1. DEFFINITION DE LA PALNTE	19
II .2. SYSTEMATIQUE	20
II .3. DESCRIPTION BOTANIQUE	21
II .3.1. Les feuilles	22
II .3.2. Les fleurs	22
II .3.3. Le fuit et les graines	23
II .4. ECOLOGIE	24

II .5. REPARTITION MONDIALE ET NATIONALE	25
II .6. LA COMPOSITION CHIMIQUE	27
II .6.1. Les principaux composants de <i>P. harmala</i>	27
II .6.1.1. Polyphénols	28
II .6.1.2. Protéines	29
II .6.1.3. Pigments	29
II .6.1.4. Glycosides	29
II .6.1.5. Composés volatiles	30
II .6.1.6. Les lipides	31
II .6.1.7. Les alcaloïdes	33
II .6.1.7. 1. La concentration des alcaloïdes	36
II .6.1.7. 2. Les principaux alcaloïdes de <i>P. harmala</i>	37
II .7. IMPORTANCE ET USAGE	39
II .7.1. Les utilisations en médecine traditionnelle	40
II .7.1.1. Utilisation pour la sciatique	42
II .7.1. 2. Utilisation pour l'épilepsie	42
II .7.1. 3. Utilisation pour le diabète	42
II .7.1. 4. Utilisation pour le mal de tête	42
II .7.1. 5. Utilisation pour les crises thoraciques	42
II .7.1. 6. Utilisation pour les rhumatismes	42
II .7.1.7. Utilisation pour le déparasitage	43
II .7.1. 8. Utilisation pour les cheveux	43
II .7.1. 9. Utilisation pour les états psychologiques	43
II .7.2. Les utilisations pharmaceutiques	43
II .7.2.1. L'activité antibiotique	45
II .7.2.1. L'activité antibactérienne	46
II .7.2.2. Activités antifongiques	48
II .7.2.3. L'activité antivirale	49
II .7.2.4. L'activité antiparasitaires	49
II .7.2.5. L'activité antioxydante	50
II .7.2.6. Les autres activités	51
II .7.3. Les utilisations agronomiques	55
II .8. TOXICITE	57

PARTIE EXPERIMENTALE
CHAPITRE III : LA COMPOSITION CHIMIQUE
DES ECHANTILLONS DES PLANTES ET DES SOLS

III .1. L'OBJECTIF	63
III .2. MATERIEL ET METHODES	63
III .2.1. Les lieux et les conditions d'étude	63
III .2.2. La matière biologique utilisée	63
III .2.3. Mode de prélèvement de Harmel (récolte-séchage-broyage)	64
III .2.4. Les paramètres mesurés	65
III .2.4.1. Détermination de taux de matière sèche (MS%)	65
III .2.4.2. Extraction et dosage de la proline	66
III .2.4.3. Extraction et dosage du sucre soluble	66
III .2.4.4. Dosages des éléments minéraux	66
III .2.4.5. Extraction des alcaloïdes	67
III .2.5. Les analyses statistiques	68
III .2.5.1. Analyse de la variance	68
III .2.5.2. Analyse de corrélation	68
III .3. RESULTATS	68
III .3.1. Les caractéristiques édaphiques des sites de prélèvement	68
III .3.2. Les caractéristiques physiologiques des échantillons végétales	69
III .3.3. La composition minérale des échantillons végétaux	70
III .3.4. Les analyses de corrélation	72
III .4. DISCUSSION	73
III .5. CONCLUSION	80

CHAPITRE IV : ETUDE DES EFFETS DE SALINITE SUR LES
PROPRIETES ANTIBIOTIQUES DE *P. harmala*

IV .1. L'OBJECTIF	82
IV .2. MATERIEL ET METHODES	82
IV .2.1. Les matières biologiques utilisées	82
IV .2.2. Préparation de la suspension bactérienne et fongique	83
IV .2.3. Antibiogramme	83
IV .3. RESULTATS	84
IV .3.1. Test antifongique	84

IV .3.2. Test antibactérienne	85
IV .4. DISCUSSION	87
IV .5. CONCLUSION	89

**CHAPITRE V : ETUDE DES EFFETS DE SALINITE SUR
LES PROPRIETES ALLELOPATHIQUES DE *P. harmala***

V .1. L'OBJECTIF	91
V .2. MATERIEL ET METHODES	91
V .2.1. Les matières biologiques utilisées	91
V .2.2. Les méthodes d'extraction	92
V .2.2.1. Extrait aqueux sous pression	92
V .2.2.2. Extrait aqueux par l'eau distillée	93
V .2.2.3. Extrait méthanolique	93
V .2.3. Le protocole expérimental	94
V .2.4. Le dispositif expérimental	94
V .2.5. Paramètre mesuré	95
V .3. RESULTATS	96
V .3.1.1. La folle avoine	97
V .3.1.2. Le brome	97
V .3.1.3. L'ive	98
V .3.1.4. La coringia	98
V .3.1.5. Le blé	99
V .4. DISCUSSION	99
V .5. CONCLUSION	103

**CHAPITRE VI : ETUDE DES EFFETS DE SALINITE SUR
LA GERMINATION DE *P. harmala***

VI .1. L'OBJECTIF	105
VI .2. MATERIEL ET METHODES	105
VI .2.1. Protocole expérimental	105
VI .2.2. Le paramètre mesuré	107
VI .3. RESULTATS	108
VI .3.1. L'effet de la source de la semence sur la germinative en milieu salin	108
VI .3.2. L'effet du NaCl sur le temps de la germination	108
VI .3.3. Le pourcentage de germination	109

VI .4. DISCUSSION	110
VI .5. CONCLUSION	114
CHAPITRE VII : ETUDE DES EFFETS DE SALINITE SUR LES PROPRIETES ANTIBIOTIQUES DE <i>P. harmala</i>	
VII .1. L'OBJECTIF	117
VII .2. MATERIEL ET METHODES	117
VII .2.1. Protocole expérimental	117
VII .2.2. Dispositif expérimental	117
VII .2.3. La mise en culture	118
VII .2.4. Les paramètres mesurés	118
VII .3. RESULTATS	119
VII .5.1.1. Hauteur des plants	120
VII .5.1.2. Nombre des feuilles	120
VII .5.1.3. Poids frais des plants	121
VII .4. DISCUSSION	122
VII .5. CONCLUSION	123
CONCLUSION GENERALE	125
LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	127
ANNEXES	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales qui restreignent la production végétale dans les régions arides. Elle est souvent adjointe à la sécheresse. Elle entraîne une réduction des surfaces cultivables, avec près de 10% de la surface terrestre totale, soit 954 Millions d'ha. (MARCUM, 2006). Dans le monde entier, des milliards de dollars sont perdus, chaque année, à cause de l'effet du sel. Presque 5 millions d'acres en perte de productivité, en raison de la salinité, chaque année (YENSEN, 2008).

Cette situation universelle a poussé certains auteurs (GLENN et BROWN, 1999 ; LACHIHEB et *al.*, 2004 ; YENSEN, 2008) à déclarer que le vingt-et-unième siècle sera éventuellement le siècle de l'élargissement de l'agriculture halophyte ; ce qui pourrait représenter des milliards de dollars encaissés, grâce à de nouvelles cultures qui tolèrent le sel, et qui seront une source potentielle d'oléagineux, d'aliments, de fourrage et autres. Cela peut inclure de nombreuses régions du monde, en particulier l'Australie, l'Asie centrale, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord (YENSEN, 2008).

Afin de développer de nouvelles cultures adaptées à de nombreux climats, sols et besoins différents de l'humanité, une liste de 1861 espèces halophytes et tolérantes au sel a été dressée. Ces espèces de plantes sont réparties sur 139 familles et 636 genres (YENSEN, 2008).

La tolérance à la présence des sels, tel que le chlorure de sodium (NaCl), est alors un caractère largement recherché chez les végétaux d'intérêt agronomique, afin d'élargir leur culture dans ces régions (MARANI et *al.*, 2013). Cependant, il existe peu d'informations sur la tolérance au sel, pendant la germination des graines (LI et *al.*, 2008a). Le stade de semis est un stade, de développement des plantes, vulnérable. En particulier dans les déserts, la germination des graines, nouvellement produites, est généralement empêchée en raison de conditions climatiques défavorables (sécheresse et températures extrêmes) qui surpassent, après la dispersion des graines (KHAN et GUL, 2008 ; NISA-MEHRUN et *al.*, 2007).

En outre, *P. harmala* est une plante vivace aboutissant 50 cm de haut (OZENDA, 1991). Elle pousse dans les sols salins des régions semi-désertiques (ANDREW, 2001). Elle se caractérise par un large territoire de répartition géographique où elle pousse spontanément dans des endroits aux caractéristiques climatiques difficiles (KUBITZKI, 2011). En Algérie, cette plante est très commune dans les Hauts-plateaux, dans le Sahara septentrional (OZENDA, 1991), dans la zone oranaise et dans la zone de l'atlas saharien (QUEZEL et SANTA, 1963).

Il ressort des différentes références bibliographiques que la plante *P. harmala* est connue depuis l'Antiquité. Elle a été utilisée en médecine traditionnelle, pour le traitement de nombreux troubles de santé (BRUNETON, 1999). Elle est utilisée en fumigation, en décoction ou en pommade (CHEHMA, 2006), pour ses effets sur le système nerveux central et le système cardiovasculaire (ARMIN et *al.*, 2002). Elle est, aussi, utilisée comme narcotiques, antihelminthiques, antispasmodiques et dans certains cas contre les rhumatismes et l'asthme (BELLAKHDAR, 1997 ; SIDDIQUI et *al.*, 1988) ; également usée pour la magie et la fausse couche (BRUNETON, 1999).

De plus, les études actuelles révèlent, pour cette plante, des activités très importantes : antifongique (AMEZIANE et *al.*, 2007 ; EDZIRI et *al.*, 2010 et HASHEM, 2011), antibactérienne et antivirale (EDZIRI et *al.*, 2010) et/ou antioxydante (ASTULLA et *al.*, 2008 ; MAHMOUDIAN et *al.*, 2002). Cette espèce de plante peut, aussi, être utilisée comme insecticide (ABBASSI et *al.*, 2003 ; IDRISSEI et HERMAS, 2008) ou herbicide (BENMEDDOUR, 2010 ; FARAJOLLAHI et *al.*, 2013 ; HUA et *al.*, 2013 ; SODAEIZADEH et *al.*, 2009).

En raison de l'importance de cette espèce, d'une part, et de la menace de salinité pour le milieu agricole, d'autre part, nous avons eu l'idée d'étudier cette plante dans ses différents habitats naturels, en termes de degré de salinité du sol, afin de pouvoir comparer ses propriétés chimiques et ses effets biologiques dans un premier temps, puis étudier la possibilité de la cultiver comme étape suivante.

Puisque cette plante est considérée comme halophyte (GHEZLAOUI et *al.*, 2011 ; GUITTONNEAU, 2011), en supposant que ce type de plantes augmentent leur capacité à produire une plus grande quantité de composés chimiques lorsque elles sont

stressés (ABIDEEN et *al.*, 2011 ; WEBER et *al.*, 2007), nous proposons comme hypothèse que les plantes de Harmel existantes ou cultivées dans des milieux salins seront caractérisées par une meilleur production quantitative et qualitative des alcaloïdes et d'autres métabolites secondaires.

Le but de ce travail est de réaliser une étude comparative de la composition chimique et des effets biologiques des plantes de *Peganum harmala* L., issues de différents sites géographiques, et dévaluer leur comportement de germination et de croissance, sous l'effet de différentes concentrations de NaCl, afin de contribuer à la mise en culture de cette espèce, dans l'avenir.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
LA SALINITE :
les causes, les effets et les solutions

I.1. DEFINITION

La salinité du sol est définie par KOTUBY-AMACHER et *al.*, (1997) comme étant la quantité globale des sels solubles contenus dans la solution du sol. Elle est déterminée par la mesure de la conductivité électrique d'extrait de patte saturée du sol (CE). Elle est exprimée soit par unité de décisiemens par mètre (dS/m), soit en millisiemens par centimètre (mS/cm).

I.2. LES RISQUES DE SALINITE

Quel que soit l'origine de la salinisation, elle provoque des effets très graves sur le sol, les cultures, le consommateur et l'environnement ; ainsi, il serait intéressant de montrer ces risques à différents niveaux.

En outre, l'augmentation de la salinité des rivières et cours d'eau de nombreuses régions sèches du monde constitue un risque écologique qui n'a pas été suffisamment pris en considération. Les conséquences écologiques d'une salinité accrue dans les eaux intérieures justifient que l'on s'y intéresse davantage, étant donné la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques à l'augmentation des niveaux de sel (FAO, 2003).

Dans le domaine de l'agriculture, les effets de la salinité peuvent se manifester sur le sol et ses propriétés ou bien sur la plante et sa nutrition en eau et les sels minéraux ; par conséquent son métabolisme (HELLER, 1981 ; HORST, 1986 ; AL-RAWAHYET et *al.*, 1992). De plus, la majorité des arbres fruitiers ainsi que d'autres cultures sont susceptibles de souffrir de la toxicité causée par les sels. Le chlorure, le sodium et le bore sont absorbés par les racines et transportés jusqu'aux feuilles dans lesquelles ils se rassemblent. À des taux nocifs, ils amènent à une nécrose et une brûlure des feuilles (PHOCAIDES, 2008).

Les sols salés sont caractérisés par des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables à la croissance des végétaux, en raison de la présence de sels solubles, et/ou de sodium échangeable, en quantités élevées.

Pour les propriétés physiques, l'accumulation du sodium peut avoir une action néfaste sur la structure du sol. Il peut provoquer le gonflement des terres aboutissant à la séparation des particules d'argiles et des matières organiques (le complexe argilo-humique)

et par conséquent, un tassage serré des particules du sol, causant une forte réduction de perméabilité et de porosité du sol (RHOADES *et al.*, 1992).

D'une manière plus claire, la destruction de la structure du sol se manifeste par le fait que les ions sodium chargés positivement sont attirés par les particules du sol chargées négativement. Ils remplacent les cations dominants du calcium et du magnésium. En conséquence, la substitution des ions calcium par des ions sodium entraîne la dispersion des agrégats du sol et la détérioration de sa structure, rendant ainsi le sol imperméable à l'eau et à l'air (PHOCAIDES, 2008).

En ce qui concerne les propriétés chimiques, en présence des sels salins ou sodiques, le pH devient égal ou supérieur à 8 ; ce qui peut induire la mort de certaines espèces végétales. Une forte concentration en ions Ca^{++} et Na^+ entraîne une diminution de la disponibilité du phosphore et du carbonate de calcium et un blocage du manganèse (Mn), du fer (Fe), du cuivre (Cu) et du magnésium (Mg) (RHOADES *et al.*, 1992).

I.3. ORIGINES ET CAUSES DE LA SALINITE

Bien que les sels soient des composants essentiels du sol, plusieurs d'entre eux sont nécessaires à la nutrition des plantes. Le problème de salinité des terres agricoles se développe rapidement, et sa résolution peut prendre du temps et se révéler coûteuse.

Selon CALVET (2003), la source de ce problème est, soit d'origine géologiques (la transformation la roche mère sous l'effet des facteurs climatiques), soit d'origine anthropique (la fertilisation inorganique, les amendements du sol, l'application des sels sur les routes pendant l'hiver, l'irrigation avec des eaux chargées en sels ou saumâtres et l'absence du lessivage ou un drainage inadéquat).

I.3.1. Les sols salés

La salinité, dans ce cas, est identifiée et qualifiée à partir de la composition ionique de la solution du sol. Certains sols, salés, possèdent, en effet, une phase liquide, très riche en sels dissous, qui leur confère des propriétés souvent défavorables à l'égard des plantes. Les ions les plus fréquemment présents dans la solution des sols salés sont les cations de sodium, de potassium, de calcium, de magnésium et les anions des carbonates, des sulfates et des chlorures (CALVET, 2003).

En plus, CHAUDHARY *et al.*, (2003) indiquent que les principales catégories ioniques de sels sont celles de sodium, de calcium et de magnésium ; apparaissant sous forme de chlorures et de sulfates, avec une prédominance de sel de chlorure de sodium (NaCl).

En dehors de mauvais drainages des petites surfaces planes des régions arides et semi-arides, la salinité primaire est habituellement la plus répandue, à cause d'un faible rapport précipitation / évapotranspiration (P/ET). Il est de l'ordre de $0,03 < P/ET < 0,2$ et $0,2 < P/ET < 0,5$, respectivement. De plus, l'introduction d'irrigation sans prévoir un drainage efficace change la nature de la balance d'eau dans les nouvelles terres irriguées, en provoquant une augmentation du niveau de solution du sol avec une surexploitation de l'eau, de salinisation ou sodification (BASHOUR et SAYEGH, 2007).

Selon AUBERT *et al.*, (1967), la classification française utilisée en Afrique du Nord (Tableau 01), admet que les sols halomorphes de ces régions peuvent être classés comme suit :

Tableau 01 : Classification française des sols halomorphes en Afrique du Nord (AUBERT *et al.*, 1967).

Sous-classe des sols salins	Sous-classe des sols salés à alcali
- Groupe peu salé	- Groupe non lessivé
- Groupe salé à très salé	- Sous-groupe : peu salé
- Groupe à salure profonde	- Sous-groupe : salé à très salé

Les sols salins sont classés en fonction de leur degré de salinité, en prenant en compte leur sodicité, basée sur le calcul de SAR (KOTUBY-AMACHER *et al.* ; 1997).

Selon CALVET (2003), les sols salins peuvent être définis à partir des valeurs de la CE et du ESP. La CE correspond à la conductivité électrique de l'extrait aqueux de sols saturés en eau, à 25°C, tandis que, l'ESP (*exchangeable sodium percentage*) constitue le pourcentage de sodium échangeable (adsorbé). Cette grandeur peut ne pas être toujours disponible, mais on peut souvent admettre que l'ESP est égal, plus ou moins, à la valeur de la SAR.

BASHOUR et SAYEGH (2007), résument les propriétés chimiques des sels affectant les sols dans le tableau ci-après :

Tableau 02 : Caractéristiques chimiques des sols salins, non salin sodique et salin sodique (BASHOUR et SAYEGH, 2007)

Sol	CE mS/cm	ESP	pH
Salin	> 4	<15	< 8,5
Sodique (non salin)	< 4	> 15	> 8,5
Salin sodique	> 4	> 15	< 8,5

Cependant, selon CHAUDHARY et *al.*, (2003), le sol est dit :

- « Salins » correspondent aux sols à pH inférieur à 8,5 et ont une conductivité électrique, de l'extrait de saturation, supérieure à 4 dS/m à 25°C.
- « Sodique » s'il présente des pourcentages de sodium échangeable supérieurs à 6 (ESP).
- « Fortement sodique » si le ESP est supérieur à 15.

I.3.2. Les eaux salines

I.3.2.1 Ressources des eaux salines

Il est très évident que les eaux d'irrigation renferment d'appréciables quantités de substances chimiques en solution susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols.

D'après FAO (2002), les activités d'irrigation et de drainage peuvent accroître la salinité des eaux de surface et souterraines en provoquant l'évaporation et le lessivage des sels présents dans le sol. Ce problème intéresse en particulier les zones arides, où l'eau de drainage souterraine a toujours une plus forte teneur en sel. Elle est plus calcaire et présente un taux d'absorption du sodium plus élevé que l'eau de distribution.

Selon PHOCAIDES (2008), la cause principale de la salinité est due aux sels solubles contenus dans toutes les eaux d'irrigation : les eaux provenant de sources, de rivières ou pompées à partir de puits, et qui ont comme origine les roches dissoutes au travers des couches géologiques, et sur lesquelles les eaux ont coulé.

De plus, FAO (2003) a déclaré que tous les cours d'eau des zones arides ont des profils salins naturels, imputables à la concentration de sels dans le bassin versant et dans les bas-fonds salins. Le transport des sels fossiles, dû à l'irrigation avec des eaux souterraines

pompées dans les nappes. Le rejet des eaux de drainage, dans les cours d'eau, est une autre cause de la salinité des cours d'eau.

I.3.2.2. Composition et concentration en sels solubles

La composition des sels dans l'eau change selon la source et les propriétés des composés chimiques constituants. Ces sels incluent des substances telles que le gypse (sulfate de calcium $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), le sel de table (chlorure de sodium NaCl) et la poudre à lever (bicarbonate de sodium NaHCO_3). Dissous dans l'eau, les sels se séparent en ions ; le chlorure de sodium, par exemple, se divise en ions sodium et ions chlore. C'est pour cela qu'on parle, plus couramment, d'ions que de sels. Les principaux ions de l'eau d'irrigation et leurs caractéristiques sont présentés dans le tableau 03 (PHOCAIDES, 2008).

Tableau 03 : Principaux ions présents dans l'eau d'irrigation (PHOCAIDES, 2008)

	Ions	Symbole chimique	Poids équivalent
Anions (Ions acides)	Chlorure	Cl^-	35,5
	Sulfate	SO_4^{--}	48
	Carbonate	CO_3^{--}	30
	Bicarbonate	HCO_3^-	61
	Nitrate	NO_3^-	62
Cations (Ions basiques)	Sodium	Na^+	23
	Potassium	K^+	39,1
	Calcium	Ca^{++}	20
	Magnésium	Mg^{++}	12,2

Tous les ions sont exprimés en milligrammes par litre (mg/l), ou en partie par million (ppm) et milliéquivalents par litre (meq/l). Cette dernière unité est préférable car les critères de qualité de l'eau impliquent des calculs en milliéquivalents par litre (meq/l).

La formule de conversion est :

$$\text{meq/l} = \frac{\text{mg/l}}{\text{poids d'équivalent}}$$

Selon PHOCAIDES (2008), il y a un rapport entre la conductivité électrique et la concentration en sels en milliéquivalents par litre (meq/l) et en milligrammes par litre (mg/l). La relation liant la conductivité électrique de l'eau (CE_w) et la quantité totale de sels dissous (TDS) est la suivante :

- $CE_w \text{ (mS/cm)} \times 640 = \text{TDS (mg/litre)}$ Pour CE comprise entre 0,1 et 5,0 mS/cm
- $CE_w \text{ (mS/cm)} \times 800 = \text{TDS (mg/litre)}$ Pour CE > 5,0 mS/cm

La somme des cations doit égaler la somme des anions. La précision des analyses chimiques de l'eau doit être vérifiée au moyen des relations ci-dessus.

Cependant, l'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation (ROUABHIA et DJABRI, 2010).

I.3.2.3. Critères de qualité et de classification des eaux salines

L'établissement de règles permettant de disposer d'un guide pour décider si une eau convient pour l'irrigation a souvent été demandé. Toute classement doit être basée sur la concentration totale et la composition des sels. Toutefois, la qualité de l'eau pour l'irrigation dépend aussi d'autres facteurs associés, tels que la plante, le sol, le climat et les pratiques de gestion (RHOADES et *al.*, 1992).

Cinq paramètres sont pris en considération pour évaluer la qualité de l'eau pour son utilisation au niveau de l'exploitation agricole :

i. La salinité totale

Une relation approximative (parce qu'il dépend aussi de la composition spécifique ionique) entre CE et la concentration globale des sels se présente sous la formule suivante : $1 \text{ mS/cm} = 10 \text{ mmol/l} = 700 \text{ mg/l}$. Les valeurs de CE sont souvent exprimées à une température standard de 25°C ; ce qui permet de les comparer avec les valeurs lues sous des conditions climatiques variables. Cette habitude d'utiliser CE comme un index de salinités accentuées paraît insuffisante comme une bonne approximation primaire. Les plantes dépendent primitivement aux concentrations totales des sels plutôt qu'aux concentrations ou proportions des constituants individuels salés (RHOADES et *al.*, 1992).

La classification citée au-après (tableau 04) est adoptée et proposée comme guide initial. Elle s'est révélée très pratique et utile pour l'évaluation des eaux d'irrigation.

Tableau 04 : Classification des eaux salines (RHOADES et *al.*, 1992)

Classe d'eau	CE (mS/cm)	Concentration en sels (mg/l)	Type d'eau
Non salée	< 0.7	< 500	Eau potable et d'irrigation
Légèrement salée	0.7-2	500-1500	Eau d'irrigation
Moyennement salée	2-10	1500-7000	Eau de drainage primaire, et eau de souterraine
Hautement salée	10-25	7000-15000	Eau de drainage secondaire et eau de souterraine
Très hautement salée	25-45	15000-35000	Eau souterraine très saline
Saumure	> 45	> 45000	Eau de mer

La concentration en sels de la majeure partie des eaux d'irrigation est comprise entre 200 et 4000 mg/l de la quantité totale de matière dissoute (TDS). Le pH de l'eau, qui est également un indicateur de qualité, est couramment compris entre 6,5 et 8,4 (PHOCAIDES, 2008).

ii. Les risques du sodium « SAR »

"Sodium Adsorption Ratio" ou « SAR », est calculée à partir des mesures effectuées sur l'eau d'extrait du sol. Elle est basée sur la concentration du sodium (Na), du calcium (Ca), et du magnésium (Mg) dans l'échantillon. Le calcul de SAR tient compte de la différence entre tensions d'adsorption (KOTUBY-AMACHER et *al.*, 1997).

$$SAR = \frac{Na(\text{meq/litre})}{\sqrt{\frac{Ca(\text{meq/litre}) + Mg(\text{meq/litre})}{2}}}$$

Le taux d'adsorption du sodium est habituellement utilisé comme indice des risques liés au sodium, dans les eaux et les sols, et comme un substitut du sodium échangeable du sol. L'emploi d'eau avec une valeur de taux d'adsorption du sodium élevée et une salinité basse à modérée peut être risquée et réduit le taux d'infiltration du sol (PHOCAIDES, 2008), et la surface devient la plus croûteuse et compacte (RHOADES et *al.*, 1992).

iii. Les problèmes de toxicité

Les problèmes de toxicité peuvent survenir à cause d'un excès de chlorure, de sodium, de bore, de bicarbonate, de nitrate et d'un pH anormal. L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation doit inclure ces paramètres et quelques autres, en association avec tous les autres facteurs impliqués (PHOCAIDES, 2008).

Tandis que, on trouve parfois quelques solutés peu fréquents : le sélénium (Se), l'arsenic (As), et le Molybdène (Mo) existent dans les eaux salines et peuvent s'accumuler à des niveaux toxiques dans différentes parties des plantes (RHOADES *et al.*, 1992).

iv. Carbonate de sodium résiduel

Le carbonate de sodium résiduel est défini comme étant la différence, en milliéquivalents par litre, entre les ions de bicarbonate et les ions de calcium et de magnésium. Le calcium et le magnésium peuvent réagir avec le bicarbonate et être précipités comme carbonates. La concentration relative en sodium, dans le complexe échangeable, augmente en provoquant la dispersion du sol. Quand la valeur du carbonate de sodium résiduel est moindre à 1,25 meq/litre, l'eau est considérée comme étant de bonne qualité ; elle est dangereuse si elle excède 2,5 meq/litre (PHOCAIDES, 2008).

v. La réaction des plantes à la salinité

Le classement des plantes en fonction de leur sensibilité/tolérance au sel est très importante, car elle procure à première vue des informations vitales pour l'évaluation et le diagnostic des problèmes potentiels de salinité (PHOCAIDES, 2008).

La figure ci-dessous montre la diminution de rendement attendu pour chaque culture, en fonction de sa sensibilité/tolérance au sel. Ce graphique permet d'estimer rapidement les deux principales grandeurs de qualité de l'eau : la CE et la TDS.

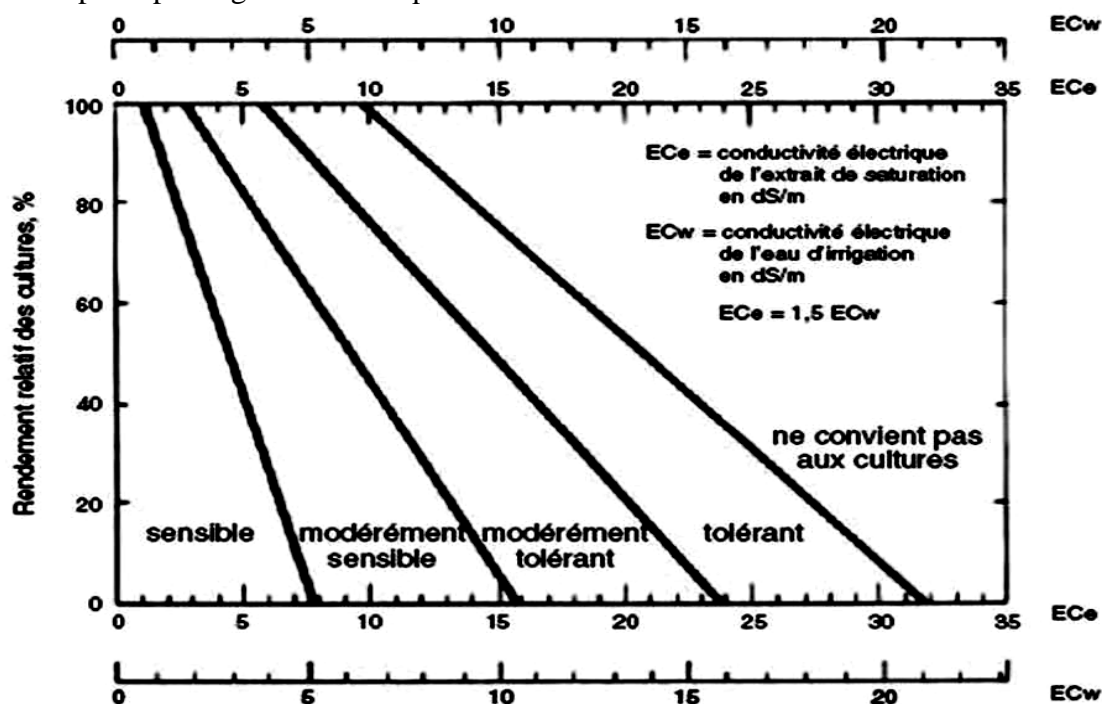


Figure 01 : Zones de taux relatifs de tolérance au sel des cultures agricoles (MAAS, 1984 *in* PHOCAIDES, 2008)

ECe : la conductivité électrique de l'extrait saturé du sol

ECw : la conductivité électrique de l'eau

I.4. LA CLASSIFICATION DES PLANTES VIS-A-VIS DE LA SALINITE

Tout d'abord, les plantes sont réparties en deux catégories vis-à-vis de la salinité : les glycophytes et les halophytes.

Les halophytes peuvent être définies comme étant des plantes en contact, par une partie quelconque de leur organisme, avec des concentrations anormalement fortes de sel (BINET, 1970). Quant aux glycophytes, elles sont incapables de se développer sur des milieux très riches en sels solubles (GROUZIS et *al.*, 1977).

Les observations de terrain et l'étude du comportement physiologique montrent que, sur la base de cette définition assez large, les halophytes constituent un groupe très hétérogène, à l'intérieur duquel on peut faire des séparations sur la base du milieu (nature du sel, degré de salinité... etc.) ou du comportement physiologique.

Sur le plan du comportement physiologique, les halophytes se caractérisent par leur aptitude à fonctionner activement en présence de fortes concentrations salines, grâce à un certain nombre de caractéristiques physiologiques. Résumées dès 1922 par ILJIN, leur comparaison montre qu'il existe deux classes d'halophytes, les halophytes facultatives et les halophytes obligatoires (BINET, 1970).

Les halophytes dits facultatifs, peuvent se développer en milieu salin, mais le font encore mieux en milieu imprégné d'eau douce ; leur absence dans les milieux non salés pourrait s'expliquer par la concurrence avec les glycophytes. Leur développement sur les sols fortement salés est liée à une faculté plus grande que chez les glycophytes de leur protoplasme à résister aux fortes concentrations salines (GROUZIS et *al.*, 1977).

Les halophytes obligatoires ou halophytes *sensu stricto*, dont la croissance est maximale en milieu salin, exigent une certaine teneur en sel dans le milieu pour assurer leur plein développement. Il y aurait donc chez ces dernières un aspect (exigence en sel) venant s'ajouter au caractère de résistance au sel (GROUZIS et *al.*, 1977).

D'après PHOCAIDES (2008), la tolérance des cultures est le degré de salinité d'un sol salin, dans lequel une culture peut croître et avoir un rendement acceptable. La réaction de différentes cultures à la salinité est très variable. Certaines peuvent tolérer moins de 2mS/cm et d'autres jusqu'à 8mS/cm et au-delà. La tolérance au sel dépend, aussi,

abondamment des conditions culturales et des pratiques de gestion de l'irrigation. Beaucoup d'autres facteurs, tels que la plante, le sol, l'eau et le climat, peuvent interagir pour influencer la tolérance des cultures en sel.

Pour cela, plusieurs répartitions sont présentées. Ainsi, CHOUKR-ALLAH (1997) a proposé une classification en fonction de la valeur globale des sels (CE : mS/cm). Il y classe les plantes en 4 catégories :

- 0 – 5 mS/cm
- 5 – 15 mS/cm
- 15 – 25 mS/cm
- 25 – 50 mS/cm

De plus, la classification des végétaux en fonction de leur sensibilité/tolérance au sel est même plus importante, car elle procure à première vue des informations vitales pour l'évaluation et le constat des difficultés potentiels de salinité (PHOCAIDES, 2008).

Pour de nombreuses plantes, des données relatives à la tolérance en sel ont été déterminées par MAAS (1990) *in* PHOCAIDES (2008). Elles sont utilisées comme normes générales. Deux paramètres importants pour exprimer la tolérance au sel de la plante sont :

- Le seuil : la salinité maximale admissible de l'extrait de sol saturé (CE),
- Le gradient : le pourcentage de diminution de rendement par unité d'accroissement de la salinité.

Le tableau ci-après montre quelques exemples de cette classification.

Tableau 05 : Tolérance relative au sel des cultures (MAAS, 1990 *in* PHOCAIDES, 2008)

S : sensible MS : modérément sensible MT : modérément tolérant T : tolérant

Nom commun	Seuil mS/cm	Gradient% par mS/cm	Classe
Fraise	1	33	S
Haricot	1	19	S
Aubergine	1,1	6,9	MS
Concombre	2,5	13	MS
Pomme de terre	1,7	12	MS
Tomate	2,5	9,9	MS
Orge	6	7,1	MT
Betterave rouge	4	9	MT
Asperge	4,1	2	T
Palmier dattier	4	3,6	T

Dans les zones arides, le bore est considéré comme l'élément le plus dangereux de l'eau d'irrigation. PHOCAIDES (2008) ajoute que le bore est un élément indispensable pour les plantes. Toutefois, lorsqu'il est présent en trop grandes quantités, il est très toxique, même au taux de concentration relativement faible de 0,6 mg/l. La toxicité intervient avec l'absorption du bore à partir de la solution du sol. Le bore tend à s'accumuler, dans les feuilles, jusqu'à ce qu'il devienne toxique pour le tissu de la feuille ; ce qui provoque la mort de la plante.

Un classement pour les limites de tolérance au bore a été présenté par MAAS (1990) in PHOCAIDES (2008) :

- Très sensible : < 0.5 mg/l
- Sensible : 0.5 -1
- Modérément sensible : 1-2
- Modérément tolérant : 2-4
- Tolérant : 4-6
- Très tolérant : > 6

I. 5. IMPORTANCE DES HALOPHYTES

En vue de leur nombre important, les halophytes trouve des débouchés dans divers domaines : Écologie, pastoralisme, industrie et autre ; dans ce sens, LI et *al.*, (2008b) ont déclaré qu'un certain nombre de plantes halophytes pourrait être utilisées comme cultures pour l'alimentation (les fibres, les pots d'herbe, l'huile comestible, les matériaux de fibres, des médicaments traditionnels... etc.).

L'utilisation des halophytes comme indicateurs des propriétés physiques et chimiques du sol peut être une méthode efficace et utile pour faciliter le transfert des informations concernant ces terrains au laboratoire, et enfin vers les utilisateurs finaux (LI et *al.*, 2008b).

Certaines espèces de plantes sont très utiles dans la lutte la dégradation des sols : *Salsola zygothylla*, *Arthrophytum scoparium*, *Atractylis serratuloides*, *Pituranthos tortuosus*, *Salvia aegyptiaca*, *Suaeda spp.* (En cas de forte salinité), *Frankenia spp* (SANKARY, 1986).

Dans le but d'assurer leurs besoins énergétiques ainsi que leurs besoins en sels, les chameaux peuvent préférer à pâturer, parfois, des plantes halophytes et spécialement les

espèces charnues, généralement caractérisées par une teneur très élevée en protéines et faible en fibre. Ces halophytes représentent un tiers des espèces sélectionnées et consommées par les camelins, durant la période estivale sèche ; période pouvant s'étaler sur 8 à 9 mois sur l'année en Tunisie. Parmi ces plantes halophytes, on note des espèces appartenant aux genres suivants : *Atriplex*, *Nucularia*, *Traganum*, *Anabasis*, *Arthrocnemum*, *Halocnemum*, *Haloxylon*, *Cornulaca*, *Suaeda*, *Tamarix* (FARID, 1989).

Par ailleurs, CHAIEB et ZAAFOURI (2000) montrent que les steppes à base d'espèces halophiles sont plutôt fréquentées par les camélidées, tandis que la majorité des espèces halophiles comme *Arthrocnemum indicum*, *Halocnemum strobilaceum*, *Suaeda mollis*, *salsola tetrandra*, *Salicornia arabica*, sont faiblement acceptées par les troupeaux, en particulier les ovins et les caprins. Seules certaines espèces gypso-haloclines, comme *Nitraria retusa* et *Salsola vermiculata* subsp. *villosa*, sont occasionnellement acceptées par les caprins.

En outre, le travail de CHROMINSKI et *al.*, (1986), montre que la synthèse d'éthylène pour les plantes halophytes, comparées aux glycophytes, sont favorisées par la présence des sels dans le milieu. Ainsi, beaucoup d'espèces halophytes représentent une source potentielle de la production de biomasse lignocellulosique destinée à l'utilisation comme source de biocarburant (ABIDEEN et *al.*, 2011).

Par ailleurs, en l'Inde, les fleurs mâles de *Pandanus fascicularis*, une plante tolérante au sel, sont utilisées pour produire des parfums et des arômes. Elle est, aussi, plantée dans les régions côtières pour contrôler les mouvements du sable (CHOUKR-ALLAH, 1997).

CHAPITRE II

LINEATURE DE *Peganum harmala* L.

II .1. DEFINITION DE LA PALNTE

C'est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des Zygophyllaceae (OZENDA, 1991). Elle est originaire des régions sèches du centre et de l'Est de l'Asie, de l'Afrique du Nord et du sud de l'Europe et s'adapte à d'autres régions telles que l'Australie, 1 (ANDREW, 2001). Elle aime la sécheresse avec un large éventail de conditions environnementales ; ce qui lui permet de se répandre géographiquement (QUEZEL et SANTA, 1963). Elle pousse dans les sols salins des régions semi-désertiques (ANDREW, 2001).

Cette plante est connue depuis l'Antiquité dans le traitement de nombreux troubles de santé et a été incluse, en 1994, dans la liste des plantes médicinales. Elle est d'une grande importance pharmaceutique et économique, en raison de sa richesse en alcaloïdes (بطيحي، 2014), dont la teneur varie selon la partie de la plante et le stade phénologique (الدقاق، 2006).

Connue en Algérie et en Afrique du Nord sous le nom de « Harmel ou Harmel El-sahra » (الحرمل / حرمل الصحراء), "Uzerlik" en Turquie (KARTAL et al., 2003), "la Rue sauvage" en France, "Espand" en Iran, "Izband" au Cachemire (ASLAM et al., 2014). Aux États-Unis d'Amérique, elle est connue sous les noms de "African Rue", "Maxican Rue" ou "Turkish Rue" (REZZAGUI, 2012). D'autres appellations sont indiquées dans le tableau 06.

Tableau 06 : Les noms vernaculaires de *Peganum harmala* L. en différentes langues

Langue	Nomenclature			Référence bibliographique
	Harmal	Sadhab barri	Ghalqat edh dhi'b	
Arabe	حرمل	سذاب بري	غلة الذيب	a
	خنيزة، خايس، خياسة			b
	حرمل، سذاب بري، حرمل عربي، حرف بابلي، اسفند، خردل أبيض، صندل دانه، جمجم، خمجم، حرملان، غلة الذئب			c
Anglais	<i>Harmel, Syrian rue, wild rue</i>			a
	<i>Harmel, Syian rue, Wild-rue</i>			c
Français	Hermale, Harmel, rue sauvage			a
	Harmale, Rue sauvage, Harmel			c

Allemand	<i>Gemeine ssyrische raute, wilde raute</i>	a
Italien	<i>Ruta salvatica, ruta della siria</i>	a
Turc	<i>Ozerlik otu, mahmur çiç, hermel, harmel, sipend</i>	a
Persan	إسفندان	c
Grec	<i>moly</i>	c

بديفيان (2006) : a

الحو (1999) : b

عيسى بك (1930) : c

II .2. SYSTEMATIQUE

Cette plante fait partie de la famille des Zygophyllacées (QUEZEL et SANTA, 1963 et OZENDA, 1991). Cependant, récemment, elle a été placée dans la famille des Nitrariaceae (GOEL et *al.*, 2009).

Le tableau suivant montre la systématique de la plante du Harmel selon MAIRE (1964)

Tableau 07 : La systématique de *Peganum harmala* L.

Taxon botanique	Nomenclature
Règne	Végétal
Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-ordre	Dialypétales
Ordre	Sapindales / Zygophyllales
Famille	Zygophyllaceae
Genre	<i>Peganum</i>
Espèce	<i>Peganum harmala</i> L.

Selon le tableau 08, inspiré du site web THEPLANTLIST (2014), *P. harmala* L. est un nom accepté mais il peut avoir plusieurs synonymes.

Tableau 08 : Liste des synonymes de *P. harmala* L. (THEPLANTLIST, 2014)

Nom	Niveau de confiance
<i>Harmala multifida</i> All.	☆☆☆
<i>Harmala peganum</i> Crantz	☆☆☆
<i>Harmala syriaca</i> Bubani	☆☆☆
<i>Peganon harmalum</i> (L.) St.-Lag.	☆☆☆
<i>Peganum dauricum</i> L.	☆☆☆

II .3. DESCRIPTION BOTANIQUE

Peganum harmala est une plante vivace, herbacée, glabre, non épineuse, à tige dressées et très rameuses, atteignant 50 cm (QUEZEL et SANTA, 1963 ; OZENDA, 1991), et même jusqu'à 100 cm de hauteur (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002), et un système racinaire qui peut atteindre 3 à 4 cm de diamètre et de 3 m de profondeur (KHASHIMOV et *al.*, 1971). La plante du Harmel disparaît l'hiver (QUEZEL et SANTA, 1963 ; OZENDA, 1991),

De plus, cette plante est caractérisé par une odeur spécifique (KHASHIMOV et *al.*, 1971), très forte et piquante avec un goût amer (CHEHMA, 2006). Elle n'est par broutée par les animaux (CHEHMA, 2006 ; 1997, حليمي).



Figure 02 : Plante entière de *Peganum harmala* L.
(a : vue lointaine, b : vue rapprochée) (originale)

II .3.1. Les feuilles

Les feuilles sont alternes et multifides (figure 03) : divisées en nombreuses lanieres étroites (linéaires) (QUEZEL et SANTA, 1963 ; OZENDA, 1991). Elles sont simples et denses. Elles sont caractérisées par une couleur verte, une forme semi-ovale ou longitudinale lancéolée et une extrémité pointue, atteignant une longueur de 4 à 8 cm ; elles sont lobées en plusieurs lobes palmées, la longueur des lobes varie de 3 cm à 5 cm, les feuilles supérieures ne dépassent pas 1,5 cm et divisées en plusieurs bandes très fines (QUEZEL et SANTA, 1963).

Les feuilles sont également plates, Sessiles et découpées de manière incohérente de 3 à 7 lobes. Leur surface est très lisse, positionnée séquentiellement le long des branches, fusionnée à la base de la lame, caractérisée par une structure auriculaire (1997، حلیمي).

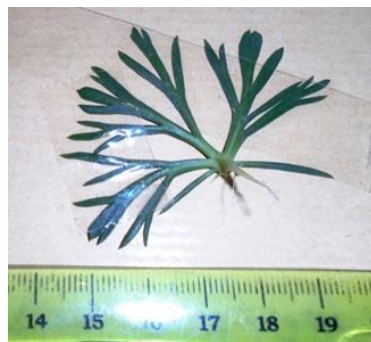


Figure 03 : La feuille de *P. harmala* (originale)

II .3.2. Les fleurs

Les fleurs (figure 04) sont blanches, portées par de longs pédoncules (CHEHMA, 2006), à assemblage individuel (1997، حلیمي). Elles apparaissent du mois de Mars à avril (CHEHMA, 2006). Elles sont assez grandes (QUEZEL et SANTA, 1963 ; OZENDA, 1991). Leur taille est de 25-30 mm (OZENDA, 1991). Elles sont pentamères (5 Sépales et 5 Pétales), avec dix à quinze étamines, pourvues de sépales effilés (CHEHMA, 2006), à pétales blanc-jaunâtre, à filets très élargis dans leur partie inférieure. L'ovaire globuleux a trois ou quatre loges (QUEZEL et SANTA, 1963), donnant une capsule sphérique (6-8 mm), entourée par les sépales persistants, et s'ouvrant en trois ou quatre valves (QUEZEL et SANTA, 1963 ; OZENDA, 1991).

La figure 05 illustre le diagramme floral de *Peganum harmala* L. CHEHMA (2006) indique que *Peganum harmala* L. possède la formule florale suivante :

$$5S + 5P + 15E + C$$



Figure 04 : La fleur de *P. harmala* (originale)



Figure 05 : Le diagramme floral de *P. harmala* (RONSE *et al.*, 1996)

II .3.3. Le fruit et les graines

La fleur se développe, en donnant des fruits (figure 06) sous la forme d'une petite capsule sphérique à 3 ou 4 loges séparées (QUEZEL et SANTA, 1963 ; OZENDA, 1991 ; CHEHMA, 2006), d'une largeur de 6 à 8 mm (QUEZEL et SANTA, 1963), entourée par les sépales persistants (OZENDA, 1991). Elles se terminent par un sommet non pointu, avec un sillon minuscule (2014، بطيحي) contenant de nombreuses graines, anguleuses (OZENDA, 1991) brun foncé (AOUADHI, 2010), à bec et sont rondes unilatéralement (2010، السيد و حسن)، de la taille de grains de moutarde, frottant rapidement, à forte odeur. Elle est mature au début de juin et maintient sa fermeté pendant 4 ans (1997، حلبي).

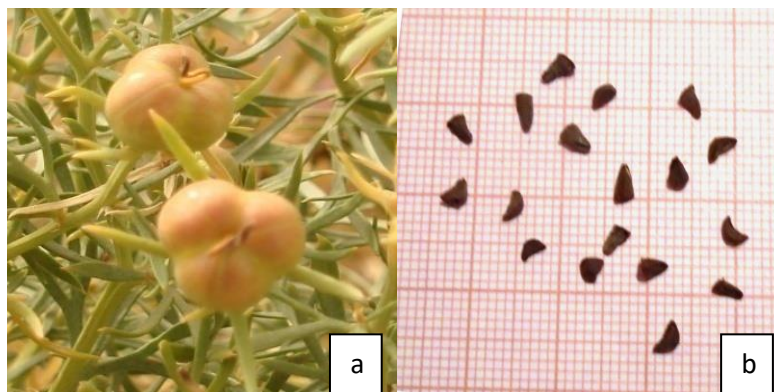


Figure 06 : Le fruit (a) et les graines (b) de *P. harmala* (originale)

II .4. ECOLOGIE

Elle se développe sur les terrains sableux et rocheux (CHEHMA, 2006 ; JIN et LI-ZHE, 2009 ; BOUZIANE, 2012), sur les terrains riches en sel (ANDREW, 2001), et surtout les sels de potassium et de magnésium (FLATI, 2014), ainsi que dans les montagnes (QUEZEL et SANTA, 1963 ; BOUZIANE, 2012) et les steppes (QUEZEL et SANTA, 1963 ; IDRISSE et HERMAS, 2008). Elle peut pousser à une altitude de 1590 mètres à 3400 mètres (ASLAM et *al.*, 2014 ; FLATI, 2014).

Le cycle biologique de cette espèce (en Samarkand) est caractérisé par un démarrage de végétation à la fin du mois de Mars, le bourgeonnement et la floraison à lieu en Mai, et la maturation des graines, en Juillet (KHASHIMOV et *al.*, 1971). Les mêmes stades phénologiques et les mêmes périodes sont enregistrés dans notre région (Laghouat).

D'autre coté, les racines du *P. harmala* L. contiennent des formations de mycorhizes qui se développent spontanément dans le désert, en fournissant, au végétal hôte, de l'humidité pendant la période sèche, en plus des éléments nutritifs (KHUDATRI, 1959 in ELLAFI, 1986).

P. harmala se développe lorsque le taux des nitrates dans le sol est important en se localisant surtout au niveau des stationnements d'animaux (AIME, 1988). C'est une espèce nitrophile non palatables (ANONYME, 2003). De plus, elle constitue un indice de dégradation végétale et de surpâturage (LAHRAOUI, 1986 ; BENABADJI et *al.*, 2009 ; ACHERKOUK et *al.*, 2012). Cette signification de l'état de dégradation et de surpâturage est en fonction de l'abondance, de la fréquence, de la taille ou du taux de recouvrement de cette espèce (MOULAY et *al.*, 2011).

Ce couvert végétal est associé au tassement des « sols » par piétinement (TAÏBI et EL HANNANI, 2004) ; et donc, cette dégradation est due au surpâturage et à d'aridité qui entraîne systématiquement le développement de taxons comme, *Anabasis articulata*, *Atriplex mollis* et *Peganum harmala* (GHEZLAOUI et al., 2011).

II .5. REPARTITION MONDIALE ET NATIONALE DE *Peganum harmala* L.

La plante de Harmel est une espèce d'origine Irano-Touranien–Européen (QUEZEL et SANTA (1963). Elle est, géographiquement, répandue dans de nombreuses zones arides et semi-arides ; dans les régions semi-arides du Nord-ouest de l'Inde, d'Afrique du Nord et d'Asie centrale (GOEL et al., 2009) ainsi que dans le Moyen-Orient ; elle a été introduite en Amérique et en Australie (MAHMOUDIAN et al., 2002).

Le genre *Peganum* est répandu dans toutes les régions du monde. Il comprend six espèces et deux variétés : *P. harmala* L., *P. multisectum* (Maxim.) Bobrov., *P. nigellastrum* Bunge., *P. mexicanum* Gray., *P. rothschildinum* F. Buxbaum., *P. texanum* M.E. Johes., *P. harmala* variété grandiflorum Hadidi et une variété indéfinie de *P. harmala* (LI et al., 2017). *P. harmala* est l'espèce la plus répandue de ce genre. Le tableau 09 présente les différentes espèces et lieux de répartition des espèces du genre *Peganum*.

Tableau 09 : La répartition géographique de différentes espèces de genre *Peganum* (ASLAM et al., 2014 ; LI et al., 2017 ; BITCHAGNO et al., 2022 ; 2014، بطيحي)

Espèce	Régions	Continent
<i>P. harmala</i> L.	Il pousse dans les régions et les plaines du centre-est de l'Iran et du Pakistan et dans les régions du Turkestan, de la forêt tibétaine, de la Sibérie et des zones sèches du Nord de l'Inde et du Nord de la Chine, ainsi qu'en Afghanistan, au Kazakhstan, au Kirghizistan, au Turkménistan, en Asie occidentale, en Turquie, en Irak, en Syrie, en Jordanie et en Arabie saoudite	Asie
	Répandu dans les zones sèches de l'Espagne et les plaines du Sud de la Russie, du Sud de l'Europe.	Europe
	Etat unie d'Amérique, Mexique	Amérique du Nord
	Il est particulièrement concentré dans les zones désertes sèches de la mer Méditerranée, les hautes terres d'Algérie, la Tunisie, les plaines de Libye, l'extrême Maroc, le Sahara occidental et l'Égypte.	Afrique
	Australie	Australie

<i>P. multisectum</i> (Maxim.) Bobrov.	Chine	Asie
<i>P. nigellestrum</i> Bunge.	Chine, Mongolie	Asie
	Europe	Europe
<i>P. mexicanum</i> Gray.	Etat unie d'Amérique	Amérique du Nord
<i>P. texanum</i> M.E. Johes.		Amérique du Nord
<i>P. rothschildinum</i> F. Buxbaum.		Tunisie

En Algérie, cette plante est très commune dans les sols sableux et un peu nitrés ; dans tous les Hauts-plateaux et le Sahara septentrional. Elle est absente au sud, sauf dans les montagnes du Sahara central (OZENDA, 1991). Elle existe dans les lits d'Oueds et même à l'intérieur des agglomérations (CHEHMA, 2006). Elle est très répandue sur les bords des routes (حليمي, 1997).

Par ailleurs, QUEZEL et SANTA (1963) ont indiqué que c'est une espèce steppique, très commune dans le Secteur Oranais (O1, O2 et O3), le Secteur des Hauts Plateaux (H1 et H2), le Secteur de l'Atlas Saharien (AS1, AS2 et AS3), le Secteur de Sahara Septentrional (SS1 et SS2), et rare dans le secteur du Sahara central (SC) et dans les montagnes (figure 07).

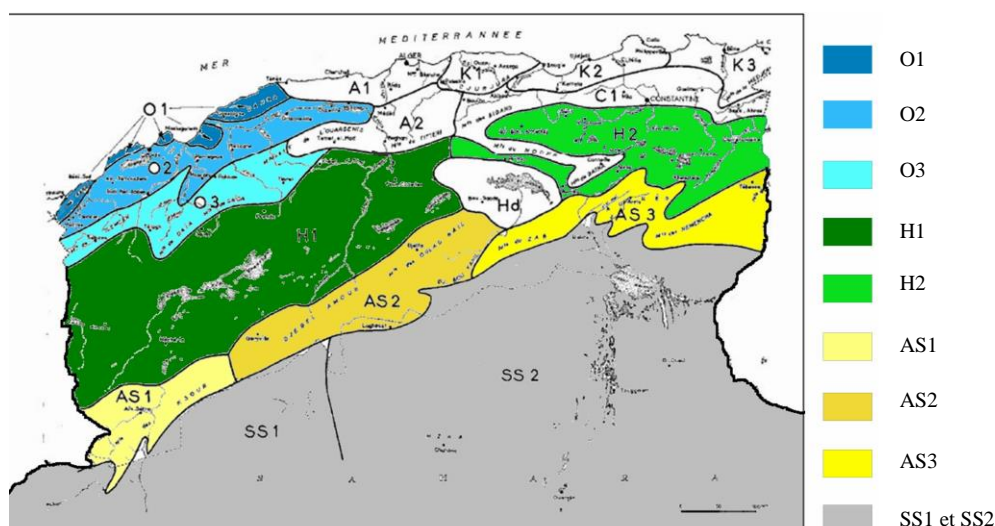


Figure 07 : Carte de répartition de *P. harmala* L. (zones colorées) sur les territoires biogéographiques d'Algérie (QUEZEL et SANTA, 1963, modifiée)

II .6. LA COMPOSITION CHIMIQUE

II .6.1. Les principaux composants chimiques de *P. harmala*

Les résultats des analyses chimiques des extraits de *P.harmala* montrent une diversité et la variation des composés chimiques qu'ils contiennent. On distingue les alcaloïdes et leurs dérivés, les flavonoïdes et leurs dérivés, les oxamides, les protéines, les graisses, les stéroïdes, les triglycérides, les acides aminés, les huiles essentielles et les éléments minéraux. En plus, on a des glycosides, tanins, savons et polyphénols (بطيحي، 2014 ; الأسدي، 2008; الشنوي، 2009 ; الخزربي و الآخرون، 2013 ; جازع، 2012. BITCHAGNO et al., 2022 ; LI et al., 2017).

La nature des composés actifs (tableau 10) a été révélée par plusieurs tests chimiques où il a été constaté que les extraits d'eau et d'alcool contenaient des alcaloïdes, des glycosides et d'autres composés efficaces, à des degrés divers (جازع، 2012).

Tableau 10 : Liste des composés chimiques détectés selon l'organe de la plante, chez *P. harmala*. (جازع، 2012; الشنوي، 2009).
(+) détection positive (-) détection négative

	Composés actifs	Feuilles	Graine
1	Traterpénoïdes	-	/
2	Fucumarines	-	-
3	Résines	+	-
4	Tanins	+	+
5	Flavonine et flavonols	+	/
6	Flavonoïdes	+	+
7	Alcaloïdes	+	+
8	Saponines	-	+
9	Glycosides	+	-
10	Huiles volatiles	+	-

Le tableau 11 montre les proportions des molécules constitutives des graines de *P. harmala* présentées dans l'étude de REZZAGUI (2012).

Tableau 11 : Les composés chimiques détectés dans les graines de *P. harmala* (REZZAGUI, 2012)

Composant	Teneur (%)	La molécule connue
Alcaloïdes	5 à 10	β -Carbolines Quinazolines
Polyphénols	4.6	Flavonoïdes, Quinones, Tanins, Coumarines
Saponines	Non déterminées	Non identifiées
Huiles fixes	15.86	Acide linoléique Acide Palmitique Acide Mélistique β -Sitostérol Terpènes et Stérols
Caroténoïdes	0.7	α -carotène δ - carotène β - carotène

II .6.1.1. Polyphénols

La plante *P. harmala* contient des phénols tels que des flavonoïdes et des tanins (جازع، 2012; REZZAGUI, 2012 ; ASLAM et al., 2014 ; LI et al., 2017; BITCHAGNO et al., 2022). Les phénols sont déterminés dans l'extrait de graines par la méthode de *folin-ciocalten* et exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/ g) ou par gramme de graines sèches (g GS) (figure 08) (REZZAGUI, 2012).

Les extraits de la partie aérienne (feuilles, fleurs et graines) contiennent une grande quantité de polyphénols d'importance, pharmaceutique, importante tel qu'une grande efficacité antibactérienne, antiviral, et son efficacité biologique anti-inflammatoire, antitumorale et antioxydante (الجزيري و الآخرون، 2013 ; جازع، 2012).

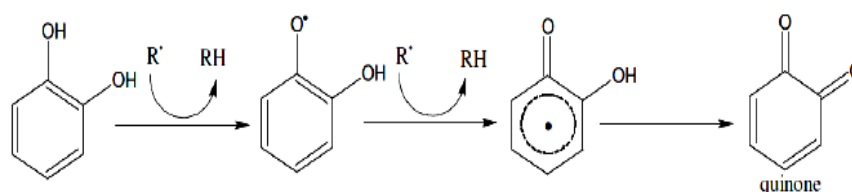


Figure 08 : Piège à radicaux oxydé aux flavonoïdes (REZZAGUI, 2012)

ASLAM et *al.*, (2014) ont constaté que les parties aériennes de *P. harmala* contiennent quatre nouveaux flavonoïdes :

- L'acacétine 7-0-mhamnoside
- Le 7-0-(6-0-glucosyl-2-0-(3-acetyl rhamnosyl)
- Le glucoside
- La glycoflavone 2-0-rhamnosyl-2-o-glucosylcytisoside

On note que les résultats indiquent que l'efficacité du méthanol pour l'extraction des composés phénoliques totaux est la plus élevée : 112,5 mgECg⁻¹ (mg d'équivalent de catéchine/ g d'extrait), pour l'extrait méthanolique, 63 mgECg⁻¹, pour l'extrait butanolique et 25,7 mgECg⁻¹, pour l'extrait d'acétate d'éthyle (EDZIRI et *al.*, 2010).

II .6.1.2. Protéines

Onze acides aminés ont été identifiés dans le nectar floral, où l'acide aminé proline s'est avéré élevé (MOUAFGHI, 2009). De plus, AOUADHI (2010) a révélé la présence de la L-phénylalanine, la valine, la proline, la tyrosine, l'histidine et l'acide glutamique. Cependant, la plus récente étude confirme la présence de 17 acides aminés sur 20 ; le tryptophane, l'asparagine et la glutamine étaient absents (BITCHAGNO et *al.*, 2022).

II .6.1.3. Pigments

La *P. harmala* est une plante sauvage. Elle constitue une source naturelle de colorants (AOUADHI, 2010). L'enveloppe externe des graines contient le colorant rouge, connu sous le nom de "rouge de dinde" ou "*Turkey Red*", et le composé fluorescent (TAHROUCH et *al.*, 2002).

II .6.1.4. Glycosides

Les glucides sont présents, exclusivement, dans les parties aériennes et dans les graines de *P. harmala*. Au total, 17 glucides ont été isolés des parties aériennes du Harmel. Ils peuvent être classés en monosaccharides (fructose et glucose), oligosaccharides (saccharose), hémicellulose et glycosides (gentisate-2,5-diglycoside, alcool sinapylique, 1-O-β-D-xylopyranose, seringue, ...etc.) (LI et *al.*, 2017).

II .6.1.5. Composés volatiles

La plante *P. harmala* contient 31 substances volatiles dans la plante verte et sèche, comme indiqué ci-dessous, les proportions de ces substances dans la plante sèche sont plus élevées que dans la plante verte, par exemple, les feuilles vertes contiennent 12 substances volatiles tandis que les feuilles sèches possèdent 19 substances volatiles (TAHROUCH et *al.*, 2002) .

Également, il a été noté que les composants volatils (tableau 12), étaient plus abondants dans les feuilles que dans les tiges et les racines. Cependant, les graines et les fruits ne contenaient pas de constituants volatils (TAHROUCH et *al.*, 2002).

Tableau 12 : Les teneurs des composés volatiles chez *P. harmala* (TAHROUCH et *al.*, 2002)

Composé	Temps (min)	Feuilles fraîches (ppm)	Tiges fraîches (ppm)	Feuilles sèches (ppm)	Tiges sèches (ppm)	Racines sèches (ppm)
Acide propanoïque	4.00	0,04		3,10	1,94	46,67
Butanol	4.30			0,98		
Pent-3-en-2-one	4.53	0,08		0,89		
Acide valérique	6.40			1,40		7,56
(E)-3-hexanol	6.65	0,03				
4-méthylvaierate de méthyl	6.80	0,04	0,06		0,15	
(E)-2-heptanal	7.88			0,36		
Acide tiglique	9.55					13,71
3-octanone	11.10	0,04	0,04	1,48	3,24	
5-méthyl tetrahydrofurfural	11.14					6,75
(E.E)-2,4- hexadienal	11.40	0,01		1,20		
Acide hexanoïque	12.30			0,17	0,44	5,97
Aniline	18.90	0,11				
N-formylaniline	22.30			1,26	1,53	
Isoquinoline	23.60	0,10	0,11	0,39	0,66	
2,3-Dihydrobenzofurane	24.80		1,24	3,49	0,15	
N-Acetylaniline	25.30	0,19		1,06		
(E.Z)-2,4-Decadienal	27.28			0,78		
Indole	27.70	0,02				
Thymol	28.11				0,34	
(E.Z)-2,4-Decadienal	28.30			1,56		
Piperitenone	28.40		0,36			
5-Ethylhydrofuran-2-one	31.45			0,14	0,71	
Isovanillin	31.70			0,50	0,39	13,51
Acide 3,4-dihydroxybenzene acétique	36.80				0,83	
b-ionone	37.00				1,37	
Dhydroactinidiolide	37.71			0,25		
6-Méthyl-2-propyl pyrimidone	38.40			0,98	0,66	
Pentadecane	39.45	0,02		0,14		
1,2-Dihydropyridin-6-one	40.80					
Acide myristique	51.72	0,07				

II .6.1.6. Les lipides

En ce qui concerne la composition lipidique, des études ont montré que les échantillons étaient riches en lipides et en composés lipophiles. Leur composition qualitative a révélé des lipides neutres (NL), des glycolipides (GL), et des phospholipides (PL), en plus des caroténoïdes et des pigments de chlorophylle (ASILBEKOVA *et al.*, 2010). Des exemples de ces variations sont présentés dans les tableaux 13 et 14.

Tableau 13 : Classes de lipides révélés dans des graines de *P. harmala* (TOLIBAEV *et al.*, 1992)

Nature lipidique	% en poids de l'extrait	Phospholipides	% en poids de l'extrait
Hydrocarbonés	0,2	Phosphatidylethanolamine	34,3
Stérols et esters triphénoliques	3,5	Phosphatidylcholine	30,4
TAGs	92,1	Phosphatidylinositol	20,4
FFAs	0,6	N-Acetylphosphatidylethanolamine	10,8
Tocophérols	0,1	N-cyllsophosphatidylethanolamine	3,7
Triterpenols	0,2	Phosphatidylglycerol	0,4
Stérols	1,0		
DAGs	0,3		
MAGs	0,2		
Pigments et substances de nature non lipidique	1,8		

Tableau 14 : Composition en acides gras des lipides contenant des acyles de l'huile de graines de *P. harmala* (TOLIBAEV *et al.*, 1992)

Temps (min) / Lipides	10:00	12:00	14:00	16:00	16:1	17:00	17:1	18:00	18:1	18:2	18:3	Σs	Σu
Somme des	0,8	0,6	0,7	8,9	0,9	1,5	Tr	4,6	31,9	48,7	1,4	17,1	82,9
Esters de stérols et triterpenols	-	1,4	Tr	10,2	Tr	1,9	-	14,0	12,7	46,1	13,7	27,5	72,5
TAGs	1,2	0,2	0,2	6,5	0,6	Tr	-	3,5	29,9	56,0	1,9	11,6	88,4
Sn-2 MAGs	-	0,1	0,3	0,5	-	-	-	Tr	27,0	70,1	2,0	0,9	99,1
FFAs	-	0,5	2,1	21,9	2,1	Tr	Tr	18,9	32,1	19,6	2,8	43,4	56,6
DAGs	-	0,7	1,8	15,8	3,8	1,4	-	3,5	16,4	55,8	0,8	23,2	76,8
MAGs	-	1,9	3,0	13,4	2,3	2,0	-	9,9	22,2	44,3	1,0	30,2	69,8
Somme des	0,6	0,5	0,7	10,0	0,3	0,4	-	3,5	26,9	56,8	0,3	15,7	84,3
PE	-	1,1	1,3	13,0	Tr	0,9	-	4,0	21,3	58,6	Tr	20,3	79,9
Sn-1	-	1,4	1,8	32,5	-	-	-	8,5	16,2	39,6	-	44,2	55,8
Sn-2	-	-	-	0,6	-	-	-	-	24,6	74,8	Tr	0,6	99,4
PC	-	0,5	1,0	10,4	0,4	0,2	Tr	3,2	25,8	57,9	0,3	15,6	84,4
PI	-	0,8	1,3	13,2	0,2	0,7	-	5,1	25,2	53,5	Tr	21,1	78,9
N-Acyl-PE	1,0	1,0	1,4	9,3	0,5	1,7	-	5,5	26,8	51,7	1,1	19,9	80,1
N-Acyl-lyso-	0,3	0,5	1,0	12,8	0,4	2,2	-	6,7	30,3	45,8	Tr	23,5	76,5

Les graines du Harmel contiennent des huiles volatiles et des huiles fixes (الحسيني، 2003) qui varient qualitativement. On distingue des lipides neutres et des phospholipides (TOLIBAEV et *al.*, 1992). Ces graisses sont, généralement, extraites de la partie racinaire (TOLIBAEV et *al.*, 1992 ; ASILBEKOA, 2010), tandis que les graisses de la partie aérienne de la plante ne présentent pas de propriétés spécifiques (ASILBEKOA, 2010) (Tableau 14 et 15).

Au Maroc, l'huile extraite des graines du Harmel constitue 10% du poids total. Elle a été étudiée, pour sa composition en acides gras et en alcaloïdes, à des fins pharmacologiques (tableau 15). Le chromatogramme obtenu par CPG montre une prédominance des acides gras insaturés, respectivement, l'acide linoléique en quantités importantes suivi de l'acide oléique. Les acides gras saturés, tels que l'acide palmitique et l'acide stéarique, sont en quantités plus faibles. Les analyses de l'huile par CCM et par HPLC montrent une grande richesse de celle-ci en alcaloïdes majeurs, notamment en Harmaline, Harmine, Harmalol et Harmol (IDRISSI et El HADEK, 1999).

Tableau 15 : les proportions des acides gras de l'huile du Harmel (IDRISSI et El HADEK, 1999)

Type de l'acide gras	pourcentage de l'acide gras (%)
Acide linoléique C18:2	54,6%
Acide oléique C18:1	22,4%
Acide palmitique C16:0	7,2%
Acide linoléique C18:3	3,6%
Acide stéarique C18:0	3,4%
Acide arachidonique C20:1	3,3%
Acide arachidique C20:0	3,2%
Acide palmitoléique C16: 1	1,2%
Acide myristique C14:0	0,58%

II .6.1.7. Les alcaloïdes

La plante du Harmel est très riche en alcaloïdes, concentrés, surtout, dans les graines et les racines (ASLAM et *al.*, 2014 ; DERAKHSHANFAR et *al.*, 2009 ; QUEZEL et SANTA, 1993, BOUZIANE, 2012 ; ZHANG et *al.*, 2013). Les alcaloïdes dans les graines et les racines ont été évaluées à l'aide de diverses méthodes, notamment rendement en %, les valeurs RF, le point de fusion, les spectres UV et infrarouge (ASLAM et *al.*, 2014).

Les alcaloïdes sont des composés organiques basiques toxiques, contenant un ou plusieurs atomes d'azote dans le cycle hydrogène et leur efficacité thérapeutique est élevée (LI et *al.*, 2017).

Selon des études menées sur l'espèce *P. harmala*, nous pouvons conclure que toutes les parties de la plante contiennent un nombre très important des composés chimiques (EDZIRI et *al.*, 2010). Ces études révèlent une richesse quantitative et qualitative en alcaloïdes (Tableau 16).

Tableau 16 : La composition chimique de *P. harmala* en alcaloïdes

[1] - ARMIN et *al.*, (2002)

[2] - MAHMOUDIAN et *al.*, (2002)

[3] - GOEL et *al.*, (2009)

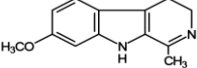
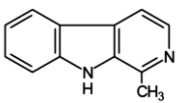
[4] - LAMCHOURI et *al.*, (2013)

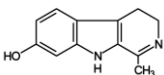
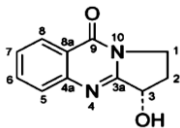
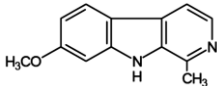
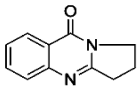
[5] - ASTULLA et *al.*, (2008)

[6] - FASKHUTDINOV et *al.*, (2000)

[7] - KHASHIMOV et *al.*, (1969)

[8] - TELEZHENETSKAYA, (1971)

Alcaloïde	Formule et/ou structure chimique	Propriétés
Harmaline [2] (harmidine)	[1] (4,9 -dihydro- 7-méthoxy- 1 -méthyl -3H- pyrido [3,4 - b] indole) [2] $C_{13}H_{15}ON_2$ 	[2] - Alcaloïde de β -carboline - Alcaloïde principal de cette plante. - Cristallisé en prismes jaunes couleurs pâles ou moins - Optiquement inactif. - Peu soluble dans l'eau, de l'alcool et de l'éther, - Très soluble dans l'alcool à chaud et des acides dilués. - Son chlorhydrate dihydraté, qui cristallise sous forme d'aiguilles jaunes, est modérément soluble dans l'eau et l'alcool.
Harmane	[2] $C_{12}H_{10}N_2$ 	[2] - Alcaloïde β -carboline connexe ; - Mais son existence dans <i>P. harmala</i> n'est pas signalée. - Cristallisé à partir de plusieurs solvants organiques tels que des prismes incolores. - Facilement soluble dans le méthanol, l'alcool, l'acétone, le chloroforme, ou un éther, mais seulement - Modérément soluble dans l'eau chaude. - Dissout dans les acides minéraux et présente une fluorescence bleu-violet.

Peganine [4][2] (vasicine)	[2] $C_{13}H_{15}ON_2$	[2] - Alcaloïde de quinazoline. - La base est optiquement inactive - Les sels sont facilement maintenus sous forme de cristaux.
Harmalol	[2] $C_{12}H_{12}ON_2$ 	[2] - Cristallisé dans l'eau sous forme de trihydrate, - Facilement soluble dans l'eau chaude, l'acétone ou le chloroforme, - Peu soluble dans le benzène, - Instable lorsqu'il est exposé à l'air. - Son éther de méthyle est harmaline.
Vasicinone	[2] $C_{11}H_{10}O_2N_2$ [5] 	[4] Alcaloïde de quinazoline [2] - La base forme des cristaux incolores à partir de 95% d'alcool ; - $[\alpha]_{D}^{22} -100^{\circ}$ (c = 0,5 dans $CHCl_3$) ; - Le spectre UV présente des maxima d'absorption à 227, 272, 302 et 315 nm ; - Les rendements alcaloïdes sels cristallins avec des acides minéraux ; - Il s'agit d'un bronchodilatateur actif.
Harmine [2] (banisterine)	[1] (7-méthoxy-1-méthyl-9H-pyrido [3,4-b] indole) [2] $C_{13}H_{12}ON_2$ 	[1] alcaloïde de β -carboline [6] représentent plus de 60% de ses graines extraire les alcaloïdes totaux. [2] - Optiquement inactif ; - Forme des prismes rhombiques incolores à partir de méthanol ; - Peu soluble dans l'eau, de l'alcool ou de l'éther ; - Solutions de ses sels montrent une fluorescence bleu profond ; - Pharmacologiquement, harmine harmaline ressemble dans ses actions, mais est moins toxique ; - Le hydrochlorure a été trouvé pour être très actif contre Mycobactérie de la tuberculose.
Deoxyvasicine [3]	[5] 	
Dipegine [6]		
Dipeginol [6]		
peganidine [7]		
Peganol [8]		
Peganone-1 [3]	[3] (3-6-dihydroxy-8-methoxy-2methyl anthraquinone)	
Peganone-2 [3]	[3] (8-hydroxy – 7 methoxy – 2 methyl anthraquinone)	
Harmalacidine [4]		[4] alcaloïde de β -carboline

Les composés alcaloïdes trouvés dans la plante du Harmel sont classés en deux types :

Premièrement, les composés β -carboline constitués d'un groupe d'indole et de pyridine, dérivés de l'acide tryptophane, tels que : l'Harmaline, l'Harmine et l'Harmane (ANISZEWSKI, 2007), (figure 09).

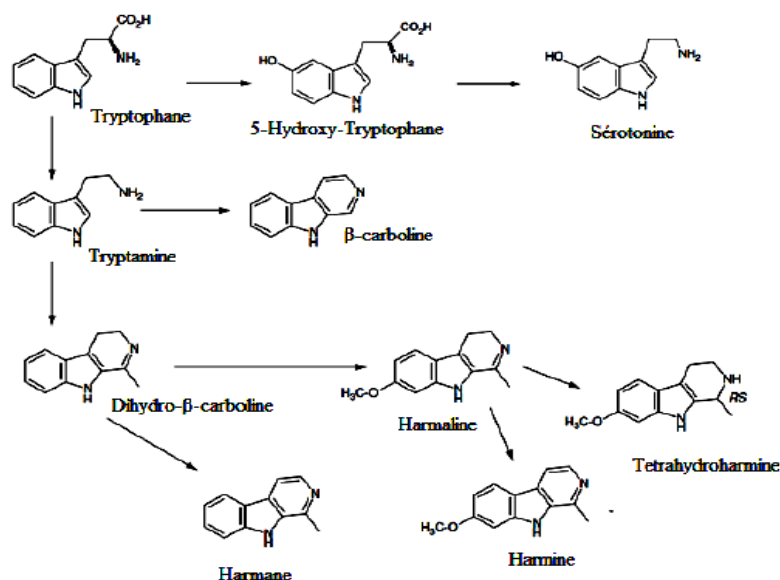


Figure 09 : Synthèse des β -carbolines de *P. harmala* L et de la sérotonine à partir du Tryptophane (ANISZEWSKI, 2007)

Grâce aux progrès techniques de la chromatographie, une méthode standard a été mise au point, à l'aide d'un dispositif HPLC, avec un détecteur UV, pour séparer et identifier les dérivés d'alcaloïdes indoliques disponibles dans les graines de la plante du Harmel. Il a été établi que les dérivés sont : l'Harmaline, l'Harmine, l'Harmalol et l'Harmol (KARTAL et al., 2003).

Deuxièmement, les dérivés de quinazoline (figure 10) sous forme de la Peganine, la Vasicine, la Vasicinone, l'esoxypéganine et l'acide anthranilique.

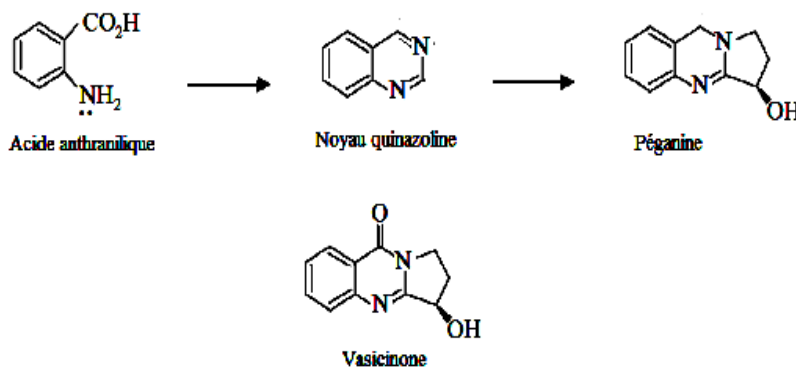


Figure 10 : Structure générale des Quinazolines du Harmel (ANISZEWSKI, 2007)

II .6.1.7. 1. La concentration des alcaloïdes

Le pourcentage d'alcaloïdes dans la plante du Harmel varie selon l'organe, le stade de développement et le site. Il a été constaté que les graines, les racines et les fruits contiennent, respectivement, les pourcentages suivants de 3,94%, 2,93% et 2,74%, tandis que les faibles niveaux d'alcaloïdes dans les feuilles, les fleurs et les tiges sont respectivement de 1,69%, 1,71% et 1,14% (BENBOTT, 2013). De plus, le tableau 17 présente un autre exemple de ces variations.

Tableau 17 : La dynamique d'accumulation des alcaloïdes durant les phases de développement de *P. harmala* (KHASHIMOV et al., 1971)
j : jeunes racines v : vieilles racines

La date et le site de collecte des plantes	Phase		%Alcaloïdes	
			Partie aérienne	Racine
	Début de la végétation			3,32j
1/4/1968. oblast de Samarkand	Partie aérienne supérieure de la plante	5-10 cm	2,17	1,68v
18/4/1967. oblast de Samarkand		15-20 cm	1,8	0,8
3-6/ 5/1968. oblast de Samarkand	Bourgeonnement		2	-
10-11/5/1968. oblast de Boukhara			2,3	-
25-27/5/1968. oblast de Samarkand	Floraison		1,95	-
20/5/1968. oblast de Boukhara			1,86	-
15/6/1965. oblast de Samarkand	Floraison et le début de fructification		1,3	-
20/7/1969. oblast de Boukhara	Plein fructification		0,69	-
14/9/1967. oblast de Samarkand	Fin de cycle de végétation (sècheresse de la partie aérienne de la plante)		0,5	1,8

Également, les travaux de séparations des alcaloïdes combinés montrent que les rapports quantitatifs entre les alcaloïdes varient en fonction du site géographique, du stade de développement et de l'organe végétal : Chez les plantes récoltées dans l'oblast de Samarcande, la péganine représente 31% des bases totales et celles de l'oblast de Boukhara seulement 6%. La Harmine prédomine dans les racines, quelle que soit la phase de développement. La teneur en alcaloïdes des jeunes racines est deux fois plus importante que celle des vieilles racines. Les graines contenaient 5 % d'alcaloïdes combinés, dont 84 % étaient constitués d'un mélange d'Harmine et d'Harmaline. Les capsules de fruits ont donné 1,08% de bases combinées, à partir desquelles l'Harmine et la vasicine ont été isolées (KHASHIMOV et al., 1971).

En outre, les analyses montrent que le β -carboline, représenté par l'Harmine et l'Harmaline, constitue plus de 60 % des alcaloïdes totaux de l'extrait des graines (ARMIN et *al.*, 2002). L'Harmine et l'Harmaline, dans les graines sèches, représentent 4,3 et 5,6 % (p/p), respectivement, l'harmalol 0,6 % et la tétrahydroharmine 0,1 % (p/p). Les racines contenaient de l'Harmine et de l'Harmol à raison de 2,0 et 1,4 % (p/p), respectivement (ASLAM et *al.*, 2014).

Les alcaloïdes dérivés de quinazoline, chez la plante du Harmel, sont indiqués, en pourcentages, dans le tableau 18.

Tableau 18 : Pourcentages (%) des alcaloïdes dérivés de quinazoline chez *P. harmala* (ZHAREKEEV et *al.*, 1974)

Type d'alcaloïde	Pourcentage (%)
Peganine	43,5%
Vasicinone	1,2%
Desoxypeganine	2,1%
Desoxyvasicinones	5,4%

II .6.1.7. 2. Les principaux alcaloïdes de *P. harmala*

i. Harmaline

L'alcaloïde Harmaline, aussi appelé Harmidine. C'est un alcaloïde de la β -Carboline de formule chimique générale $C_{13}H_{15}ON_2$ et de formule chimique détaillée 3,4-Dihydro-7-Méthoxy-1-Méthyl- β -Carboline (Figure 16) (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002 ; WU et *al.*, 2009 ; ASGARPANAH et RAMEZANLOO, 2012). L'Harmaline est l'alcaloïde β -Carboline le plus concentré (5,6%) dans les graines de la plante du Harmel (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002).

MAHMOUDIAN et *al.*, (2002) ajoute que l'Harmaline est un composé photo-inactif qui cristallise dans des aiguilles incolores ou jaune pâle s'il est hydraté dans une solution de chlorhydrate. Il présente une faible solubilité dans l'eau, l'alcool et l'éther, tout en étant très soluble dans l'alcool chaud et dans les acides dilués.

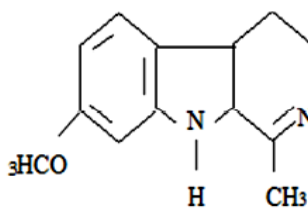


Figure 11 : La formule chimique d'Harmaline (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002)

ii. *Harimine*

L'alcaloïde Harimine est répertorié par MAHMOUDIAN et *al.*, (2002), NASEHI et *al.*, (2010) et PATEL et *al.*, (2012). Il fait partie des alcaloïdes de β -Carboline. Sa forme stéréoisométrique se compose de trois anneaux hétérogènes. Sa formule chimique générale est $C_{13}H_{12}ON_2$ et sa formule détaillée est 7-Methoxy-1-(3,4-b) Indol Methyl-9H-Ryridol (Figure 12).

L'Harimine est une molécule photoinactive, incolore, en forme de prisme dans une solution de méthanol et peu soluble dans l'eau, l'alcool et l'éther (MAHOUDIAN et *al.*, 2002).

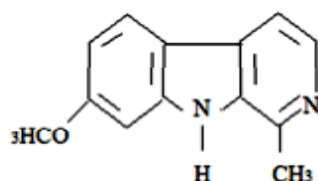


Figure 12 : La formule chimique d'Harimine (MAHMOUDIAN et *al.*,

iii. *Harmol*

La formule chimique détaillée de l'Harmol est 1-méthyl-7-hydroxy-bêta-Carboline (Figure 13). L'Harmol est produit à partir du métabolisme de l'Harimine. Il se trouve dans le Harmel et dans *Banisteriopsis caapi*. C'est le composé le moins concentré parmi les alcaloïdes B-carboline du Harmel, avec une teneur racinaire estimée à 1,4 % (FRISON et *al.*, 2008 ; NASEHI et *al.*, 2010 ; ASGARPAHAH et RAMEZANLOO, 2012).

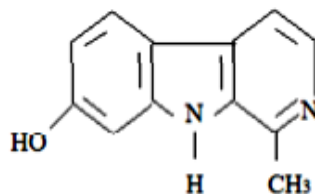


Figure 13 : La formule chimique du Harmol (PREEDY et *al.*, 2011).

iv. *Harmalol*

Le composé harmalol est un alcaloïde B-Carboline, dont la formule chimique est $C_{12}H_{12}ON_2$ (Figure 14). (ASGARPAHAH et RAMEZANLOO, 2012). L'harmalol cristallise dans l'eau sous forme de trihydrates. Il est entièrement soluble dans l'eau chaude, l'acétone et le chloroforme, alors qu'il est peu soluble dans le benzène et instable lorsqu'il est exposé à l'air (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002). L'harmalol est présent dans les graines du Harmel jusqu'à 0,6% (ASGARPAHAH et RAMEZANLOO, 2012).

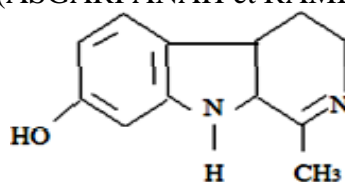


Figure 14 : La formule chimique d'harmalol (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002).

v. *Harmane*

L'harmane est un alcaloïde B-Carboline dont la formule chimique détaillée est 1-méthyl-B-Carboline (Figure 15). (TROIE, 2000 ; MAHMOUDIAN et *al.*, 2002). L'harmane cristallise, dans de nombreuses solutions organiques, sous forme de prisme incolore. Il est très soluble dans le méthanol, l'alcool, l'acétone, le chloroforme, l'éther. Il est modérément soluble dans l'eau chaude et se dissocie dans les acides minéraux (MAHMUDIAN et *al.*, 2002).

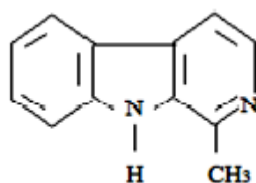


Figure 15 : La formule chimique d'harmane (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002)

II.7. IMPORTANCE ET USAGE

La plante du Harmel est l'une des plantes médicinales les plus importantes. Elle a une longue histoire dans les utilisations de la médecine ancienne ; elle est utilisée dans la médecine populaire depuis l'Antiquité (AOUADHI, 2010). Elle était connue des médecins grecs DOSCORIS (40 après JC, 90 après JC) et GALIEN (131 après JC, 200 après JC) et de leur homologue persan Ibn Sina (980 AD, 1037 AD) (ANDREW, 2001 ; JIN et LI-ZHE, 2009 ; 2012, جازع).

Il est à noter que les graines du Harmel sont utilisées en Turquie et en Iran pour teindre les textiles, car elles contiennent un pigment rouge (KARTAL et *al.*, 2003 ; GOEL et *al.*, 2009 ; ASLAM et *al.*, 2014).

De plus, *P. harmala* L est utilisée en fumigation pour dissiper les troubles provoqués par le mauvais œil, selon CHEHMA (2006). En Turquie, le Harmel est utilisé comme rituel d'exorcisme en brûlant des graines (KARTAL et *al.*, 2003), et dans le Nord-ouest de l'Inde et l'ouest du Pakistan, la plante est utilisée comme encens en le passant quotidiennement sur toute la maison lors de la naissance d'enfants ou de cérémonies de mariage (ASLAM et *al.*, 2014).

Actuellement, elle est utilisée à des fins thérapeutiques, en Asie centrale, et présente un statut élevé, dans toute l'Asie Mineure (DERAKHSHANFAR *et al.*, 2009).

Peganum harmala possède une grande importance. Elle peut être utilisée dans de multiples domaines. Des études sont encore en cours concernant les multiples effets des extraits de cette plante sur les agents pathogènes et autres. Nous essayons dans cette partie de mettre en évidence les utilisations de la plante, dans trois domaines : médecine traditionnelle, pharmaceutique et agronomique.

II .7.1. Les utilisations en médecine traditionnelle

Les différentes parties de la plante du Harmel sont largement utilisées dans le traitement de nombreux troubles de santé et le traitement de troubles corporels. Elles sont utilisées comme abortif, aphrodisiaque, emménagogue, galactagogue et diurétique ; il enrichirait le sang, et serait utile dans la faiblesse des muscles et du cerveau (GOEL, *et al.*, 2009).

En médecine traditionnelle marocaine, les graines de *P. harmala* L, sont, depuis longtemps, utilisées comme narcotiques, antihelminthiques, antispasmodiques et dans certains cas contre les rhumatismes et l'asthme (SIDDIQUI *et al.*, 1988 ; BELLAKHDAR, 1997). Cette utilisation des graines est due à leur richesse en alcaloïdes de type β -carboline dont les plus importants sont l'Harmine, l'harmaline, l'harmol et l'harmalol (MERCK INDEX, 1989 ; IDRISSEI *et HERMAS*, 2008).

Ainsi, *P. harmala* L, est utilisée pour traiter l'épilepsie et les convulsions infantiles, en particulier (CHEHMA, 2006 ; BOUZIANE, 2012), en décoction et en pommade, pour le traitement des fièvres, et en frictions, pour soigner les rhumatismes (CHEHMA, 2006). Elle est connue pour ses effets sur le système nerveux central (MAHMOUDIAN *et al.*, 2002 ; SHEREEN *et al.*, 2013) et le système cardiovasculaire (ARMIN *et al.*, 2002). C'est un sédatif pour l'état psychologique et un traitement pour les douleurs neurologiques, le traitement des maux de tête et des crises thoraciques, le soulagement de la douleur, les oublis et les hallucinations (السيد و حسين، 2010), et le traitement de la syphilis, et du paludisme (علي و الحسين، 2002).

Il est également utilisé pour traiter l'asthme (ZHANG et *al.*, 2013), la gorge et comme antitussifs (AOUADHI, 2010), la fièvre et soulager les maux de dents (التكروري و آخرون، 2008 ; 2007، العوفي).

C'est un aphrodisiaque chez l'homme (ANDREW, 2001; 2010، السيد و حسين)، un régulateur du cycle menstruel (2007، العوفي ; AOUADHI, 2010 ; ACHOUR et *al.*, 2012.), augmente la production du lait maternel (GOEL et *al.*, 2009), un diurétique (عارف، 1997) et un agent d'avortement (ACHOUR et *al.*, 2012).

Il est également utilisé pour détruire les ténias (IDRISSI et HERMAS, 2008 ; ACHOUR et *al.*, 2012), et l'entérotrophie, l'ascaris et les vers ronds « *Strongyloides stercoralis* » (العراقي، 1992).

En plus, l'huile de graines est utilisée pour le traitement des yeux (السيد و حسين، 2010 ; ASLAM et *al.*, 2014), en dermatologie (السيد و حسين، 2010) et comme pansement (ACHOUR et *al.*, 2012).

Selon AOUADHI (2010), la plante du Harmel est martelée et cuite, dans l'huile, puis que la personne infectée déjeune avec une quantité de noix, pendant sept jours, à jeûne. Aussi, (2006، الدقاق) a cité qu'elle peut guérir des maladies suivantes :

- Maladies gynécologiques (il est un régulateur du cycle menstruel, traite l'infertilité féminine)
- Hypnotique, antipyrétique, analgésique, antitussif.
- Maladies du tractus gastro-intestinal (coliques, troubles digestifs)
- Douleurs au genou et aux jambes, douleurs aux mains et aux pieds, douleurs hémorroïdaires, ballonnements.

Les infusions des graines et du fruit sont utilisées comme laxatif digestif (بطيحي، 2014), appétissant et diaphorétique (2007، العوفي ; ACHOUR et *al.*, 2012), encens et épices (ASLAM et *al.*, 2014).

Il est également utilisé dans certains cas pour la désinfection et la stérilisation (DERAKHSHANFAR et *al.*, 2009 ; ACHOUR et *al.*, 2012 ; AOUADHI, 2010 ; BOUZIANE, 2012), ainsi que pour la sorcellerie (بطيحي، 2014).

II .7.1.1. Utilisation pour la sciatique

Une personne atteinte de sciatique avale une cuillère à café de graines du Harmel ou 4 grammes sans marteler ni moulin, pendant 12 jours consécutifs (1997, عارف ; حليمي, 1997 ; الدقاق, 2006).

II .7.1. 2. Utilisation pour l'épilepsie

On fait cuire un kilogramme du Harmel dans un litre et demi d'eau, et on fait bien cuire jusqu'à ce qu'il reste un litre d'eau, environ. La personne atteinte d'épilepsie doit boire une tasse, le matin, et une autre soir, pendant une période de trente jours. L'épilepsie est sensée disparaître, même si elle est chronique (1997, حليمي ; الدقاق, 2006).

II .7.1. 3. Utilisation pour le diabète

On fait bouillir les feuilles du Harmel dans deux litres d'eau pendant un quart d'heure. On laisse refroidir puis filtrer. Le malade soit en boire en boire une cuillerée le matin, avant le petit déjeuner, et une autre, le soir, en mesurant le taux de glycémie, après chaque boisson (2006, الدقاق).

II .7.1. 4. Utilisation pour le mal de tête

On fait cuire des feuilles du Harmel dans un litre d'eau, puis on avale une cuillère à soupe, le matin, une deuxième au déjeuner et une troisième au dîner, pendant une semaine (1997, عارف ; الدقاق, 2006).

II .7.1. 5. Utilisation pour les crises thoraciques

Des feuilles du Harmel sont moulues et prises avec du miel d'abeille ; de préférence mélangé avec de la nigelle (*Nigella sativa* L. ; حبة البرك) (2006, الدقاق). On procède à l'ébullition, on laisse refroidir puis on filtre. On en prend une cuillerée le matin (عارف, 1997). Cette préparation peut être utilisée par gargarisme, en cas de mal de gorge et de larynx (SHEREEN et al., 2013).

II .7.1. 6. Utilisation pour les rhumatismes

Une cuillerée moyenne du Harmel moulue, prise dans l'huile d'olive, est mise à feu doux, jusqu'à ce que le Harmel se dissolve. On laisse refroidir puis on masse les articulations et le dos, deux fois par jour. Parfois, on ajoute une cuillerée de gingembre

moulu à ce mélange pour en faire un traitement plus fort pour les articulations. Par ailleurs, la plante peut être ajoutée à l'eau chaude dans les bains pour traiter les rhumatismes (عارف، 1997).

II .7.1.7. Utilisation pour le déparasitage

Une décoction de la plante du Harmel expulse les ténias (الدقاق، 2006), en particulier chez les enfants lorsqu'ils ne peuvent pas tolérer le goût du Harmel. On en prend une cuillère (après ébullition, refroidissement puis filtration) et y ajoute une cuillerée de miel et de préférence de miel du jujubier de montagne (عارف، 1997).

II .7.1. 8. Utilisation pour les cheveux

Le Harmal est très utile pour la chute et les cheveux faibles. Il renforce les racines des cheveux, et limite la perte. On utilise une cuillère de harmal bouilli avec de l'eau, dans le lavage des cheveux (عارف، 1997). S'il est cuit avec du vinaigre, il peut être utilisé comme graisse capillaire, il augmente l'assombrissement des cheveux (الدقاق، 2006).

II .7.1. 9. Utilisation pour les états psychologiques

Le Harmel est utilisé pour soulager certains états psychologiques tels que l'anxiété (ASLAM et *al.*, 2014) et l'obsession. Il est bouilli, comme de la menthe, tous les jours (عارف، 1997). Et, si les graines sont mélangées et pétries avec du miel, la préparation guérit l'essoufflement (الدقاق، 2006).

II .7.2. Les utilisations pharmaceutiques

Tous d'abord, il est très intéressant d'indiquer que la cinétique pharmaceutique de *P. harmala* est représentée, selon (بطيحي، 2014), en trois points :

a) Effets biochimiques et pharmaceutiques de l'Harminine

Du point de vue pharmaceutique, l'Harminine est caractérisée par divers effets ; Anticoagulant, antiplaquettaire, antimicrobien, antiparasitaire et antioxydant. L'Harminine agit pour augmenter la température corporelle, augmenter le taux de sucre dans le sang, augmenter la fréquence respiratoire, diminuer la pression artérielle et la sécrétion de salive,

en plus de sa capacité à tuer les cellules tumorales formées. Cet aspect est utilisé pour trouver un traitement pour divers types de tumeurs chez l'homme.

b) Effets biochimiques et pharmaceutiques de l'harmaline

Il se caractérise par une toxicité élevée, par rapport au Harmine. L'application de doses moyennes de l'harmaline aux rats génère diverses réponses pharmaceutiques telles que des tremblements et des contractions motrices simples, sans augmenter l'induction du reflux rachidien. Cependant, des doses élevées, létales, provoquent des contractions sévères qui apparaissent par immobilisation. L'activité est altérée en raison de l'effet sur le système nerveux central, de la paralysie fonctionnelle du processus respiratoire, de la température corporelle basse, de l'inhibition de l'activité générale du muscle cardiaque et de l'expansion des vaisseaux sanguins ; ce qui entraîne une pression artérielle basse.

L'effet du composé harmaline sur l'olive bulbaire, au niveau du système nerveux central, conduit à un trouble de la coordination du mouvement, car le système d'olive bulbaire sert, principalement, à réguler le mouvement ; l'effet à son niveau entraîne des tremblements et un dysfonctionnement de la posture.

c) Effets biochimiques et pharmaceutiques combinés d'harmaline et d'Harmine

L'effet pharmaceutique de la molécule d'Harmaline est similaire à celui de la molécule d'Harmine. Elles affectent directement le niveau moléculaire, en se liant à plusieurs récepteurs de neurotransmetteurs, monoamines, tels que la sérotonine (5-HT), l'imidazoline (I₁-I₂) et les accepteurs de benzodiazépines. L'effet de l'alcaloïde Harmine est unique. Il inhibe le stockage de la norépinephrine, dans les vésicules d'adrénaline, et le transport et la recapture de la dopamine.

La molécule d'Harmine est caractérisée par une frénésie de liaison modérée aux récepteurs 5-HT_{2A}, 5-HT₁₂, imidazoline et une frénésie moins importante aux récepteurs 5-HT_{2C} et aux vecteurs dopaminergiques. Cependant, la liaison excessive de la molécule harmaline est modérée à élever aux récepteurs 5-HT_{2A/C} ou 5-HT_{2A} (2014، بطيحي).

L'effet de l'harmaline et de l'Harmine est, indirectement, d'inhiber un groupe de protéines de phosphorylation telles que l'enzyme CDKS et ses analogues CDK₁, CDK₂ et CDK₅, en inhibant la phosphorylation de l'acide aminé tyrosine double dans les enzymes de phosphorylation. « *Dual specificity tyrosine-phosphorylation-regulated kinase* (DYR.

K) » de type DYR. K_{1A}, et métabolisme des neurotransmetteurs monoamines (MAO-A), l'Harimine agit comme un inhibiteur faible des analogues enzymatiques oxydatifs (MAO-B) où la dopamine est la substance métabolique préférée. La frénésie d'Harimine et ses analogues ont été testés sur des sites MAO-A et se sont avérés avoir une gourmandise élevée pour eux.

La β -Carboline, composés de tétrahydroharman, l'harmaline et l'Harimine affectent l'aspect psychologique, par l'inhibition qualitative, compétitive et inverse de l'oxydation enzymatique et du retour des neurotransmetteurs monoamines MAO, en particulier sous le type MAO-A, dont la substance réactionnelle est la noradrénaline, la sérotonine, et certains dérivés de tryptamine tels que (D.M.T). Cet effet conduit à l'induction d'hallucinations et de troubles auditifs et visuels. Cependant, le tétrahydroharman inhibe le mécanisme de recapture de la molécule de sérotonine. La liaison des alcaloïdes β -carboline à la MAO varie car elle se caractérise par une faible gourmandise de l'enzyme MAO hépatique, par rapport à son homologue, au niveau cérébral. L'effet pharmaceutique de l'inhibiteur de la MAO, au niveau du système nerveux central, est utilisé pour modifier le niveau des neurotransmetteurs aminés et traiter les troubles psychiatriques liés à l'activité des neurotransmetteurs.

La plante du Harmel a une grande importance pharmaceutique (IDRISSI et HERMAS, 2008; BOUZIANE, 2012; 2014 (بطيحي), a une large gamme d'effets pharmaceutiques (KARTAL et *al.*, 2003) ainsi qu'une importance économique significative (BOUZIANE, 2012; 2014 (بطيحي), et a un large éventail d'actions pharmacologiques dans différentes régions (ZHANG et *al.*, 2013), en raison du fait que ses graines contiennent de nombreux composés chimiques, avec des propriétés pharmaceutiques importantes et des effets biochimiques et physiologiques sur le système nerveux central et périphérique (بطيحي, 2014).

II .7.2.1. L'activité antibiotique

La plante du Harmel est utilisée comme antidote à de nombreux micro-organismes. Elle est antiparasitaire, antibactérienne, antifongique et antivirale (DERAKHSHANFAR et *al.*, 2009). L'effet antimicrobien des feuilles du Harmel est dû à leur teneur en alcaloïdes. Il a été constaté que l'ajout de 200 mg de l'extrait aqueux de feuilles du Harmel à une culture

de *Staphylococcus aureus*, en boîtes de Petri, a conduit à une inhibition de 100% de la croissance (2012, جازع).

Le mécanisme responsable de la toxicité des phénols, pour les micro-organismes, implique l'inhibition des enzymes par oxydation des composés ; éventuellement, en interagissant avec des groupes spécifiques ou par interaction aléatoire avec des protéines. Cependant, les flavonoïdes ont la capacité à interférer avec les protéines membranaires ou avec la paroi cellulaire bactérienne. Ils sont plus familiers avec les lipides lipophiles, et peuvent également déchirer les membranes cellulaires des micro-organismes (الشنوي، 2009).

L'apparition de l'inhibition est également due, soit (i) à une action sur les lipides et protéines de la membrane plasmique qui, en se brisant, bloque la reproduction du microorganisme soit (ii) à l'inhibition de plusieurs voies métaboliques nécessaires à la croissance du microorganisme ou bien (iii) à un blocage de sites actifs d'enzymes nécessaires à la croissance et à la reproduction du microorganisme (2012, جازع).

L'inhibition peut être due, aussi, à la présence de furocoumarines dans l'extrait alcoolique, un type de composé phénolique qui a la capacité de décomposer les biofilms des bactéries (2012, جازع).

II .7.2.1. L'activité antibactérienne

Pour l'activité antibactérienne, les résultats obtenus par EDZIRI et *al.*, (2010) montrent que les extraits chloroformiques et méthanoliques des feuilles du Harmel ont une activité antibactérienne importante contre les bactéries à gram-positif que les bactéries à gram-négatif, avec des valeurs de CMI variant entre 0,251 et 2,5 mg/ml. Les extraits d'acétate d'éthyle et butanoliques ont une activité antibactérienne contre les bactéries à gram-positif, avec des valeurs de CMI variant entre 0,512 et 5 mg/ml.

L'extrait de graines du Harmel est utilisé comme antibiotique en raison de sa grande capacité à inhiber les bactéries dans le milieu biologique (2003, الحسيني). Les extraits aqueux et alcooliques de feuilles du Harmel et de graines ont une activité inhibitrice contre la croissance de certaines bactéries à Gram positif telles que *Staphylococcus aureus*, *Bacillus spp* et *Lactobacillus spp* (isolées de la salive humaine) et des bactéries à Gram

II .7.2.2. Activités antifongiques

La plante du Harmel a un effet antifongique (2003, الحسيني), car les extraits de cette plante ont été utilisés dans la lutte contre de nombreux champignons pathogènes, comme alternative aux produits chimiques toxiques (2008, الأسدي).

Les extraits aqueux et alcooliques du Harmel se sont révélés être efficaces contre le champignon *Mauginiella scaettae*, l'agent causal de la maladie du pollen de palmier. Il inhibe, également, *Candida* isolé de la salive humaine (2013, الخزربي و آخرون).

D'après les travaux d'AMEZIANE et al. (2007), la poudre des graines de *P. harmala* montre une activité antifongique, avec 100% d'inhibition de la croissance du mycélium de trois espèces pathogènes : *Penicillium digitatum*, *P. italicum* et *Geotrichum candidum*. De plus, les extraits chloroformique et méthanolique de cette plante présentent un effet inhibiteur de 100% et 71–76% à une concentration de 1% et 2% (p/v), respectivement.

Aussi, les résultats obtenus par EDZIRI et al., (2010), indiquent que quel que soit les extraits des feuilles, chloroformique, à l'acétate d'éthyle, butanoliques et méthanolique, *P. harmala* présente une activité antifongique appréciable, avec des valeurs de CMI de 2,5 mg/ml.

Egalement, l'étude de HASHEM (2011) révèle un effet très important de l'extrait de *P. harmala* (mélange de différentes parités de la plante) sur certaines espèces fongiques pathogènes (*Trichophyton rubrum*, *T. tonsurans*, *Candida albicans*, *Chrysosporium tropicum*, *Paecilomyces lilacinus*, *P. variotii* et *Scopulariopsis bervicaulis*).

Les résultats obtenus par (2008, الأسدي) ont montré que les extraits aqueux et alcooliques de la plante du Harmel ont une efficacité inhibitrice contre le champignon *Mauginiella scaettae* Cav., car l'inhibition du taux de croissance radioactive était de 24,07 et 24,3%, respectivement. Il a également été noté dans cette étude que l'augmentation de la concentration de l'extrait a entraîné une augmentation de l'effet sur la croissance du champignon.

Les résultats de cette étude, selon TAYLOR et al., (1996), expliquent que l'augmentation de la concentration de l'extrait affecte soit la membrane plasmique, par décomposition, ou bien par inhibition de réactions métaboliques nécessaires à la croissance

des micro-organismes. De plus, CHAKRAVARTY (1976) a déclaré que l'effet du Harmel sur les micro-organismes est dû à sa teneur en alcaloïdes, tanins et composés phénoliques qui agissent en modifiant la nature de la protéine et en endommageant la membrane cellulaire du champignon, en les associations avec les sites actifs des enzymes cellulaires.

Par conséquent, les extraits aqueux et alcooliques du Harmel peuvent être utilisés comme inhibiteurs, après avoir déterminé les concentrations efficaces appropriées.

II .7.2.3. L'activité antivirale

La plante du Harmel est active contre les virus (IDRISSI et HERMAS, 2008 ; DERAKHSHANFAR et *al.*, 2009 ; 2013، الخزربي و آخرون، 2012، جازع). L'activité antivirale est probablement due à la teneur élevée en phénols et de la présence de substances polaires telles que les flavonoïdes et les tanins (EDZIRI et *al.*, 2010).

L'activité antivirale des extraits de feuilles de *P. harmala*, dans des concentrations différentes, montre que tous les extraits ont une activité anti-HCMV, à diverses concentrations, à l'exception des extraits de l'éther de pétrole n'ayant pas présenté d'activité antivirale. L'extrait le plus actif semble être l'extrait de méthanol, les concentrations actives des différents extraits varient de 25 mg/ml (de 80% d'activité) à 100 mg/ml (95% d'activité) (EDZIRI et *al.*, 2010).

II .7.2.4. L'activité antiparasitaires

Il a été constaté en Égypte que les alcaloïdes extraits de la plante du Harmel, ont un effet antiparasitaire. Une étude de l'effet des composés Harmine et Harmaline des graines sur le parasite du kyste aquatique *Echinococcus granulosus* chez des souris de laboratoire est apparu positive, en particulier (2012، جازع).

(الخزربي و آخرون، 2013) ont noté que Harmine est efficace pour la destruction des parasites intracellulaires. Il est utilisé dans ses formes vésiculaires dans des applications médicales humaines.

« الشنوي » a découvert, en 2009, que l'extrait aqueux et alcoolique du Harmel avaient un effet contre le parasite amibe tissulaire *Entamoeba histolytica*, en raison de la teneur élevée en alcaloïdes et saponines.

i. L'activité anti Malaria

La recherche indique que l'extrait du Harmel traite la fièvre récurrente, due au paludisme. L'utilisation du Harmel a montré des effets vitaux sur le bétail atteint de fièvre de la côte Est ; mortelle à 100% (environ 1,1 million de têtes de bétail en Afrique en 1992) (الخرابي و آخرون، 2013). De plus, une efficacité des alcaloïdes Harmaline et Harmine dans l'inhibition du parasite *Plasmodium falciparum* a été déterminée (بطيحي، العراقي، 1992 ; بطيحي، 2014).

ii. L'activité anti-leishmaniose

Selon (الخرابي و آخرون، 2013), l'utilisation de l'un des composés du Harmel, la péganine, est sûre et efficace contre *Leishmania donovani*. L'extrait alcaloïde des graines du Harmel a été montré expérimentalement pour inhiber la croissance et le développement du parasite du genre *Leishmania sp* à la phase infectieuse de l'espèce *Leishmania major*, causant la Leishmaniose cutanée (بطيحي، 2014).

iii. L'activité antihelminthiques

Des travaux de recherche indiquent que les anciens Grecs utilisaient de la poudre de graines du Harmel pour se débarrasser des ténias (الخرابي و آخرون، 2013). Depuis, il a été confirmé que l'extrait de la plante du Harmel affecte ces vers (العراقي، 1992 ; الحسيني، 2003) ; (السيد و حسين، 2010)، en particulier les ténias, les ascaris et les vers ronds (العراقي، 1992).

Les analyses chimiques ont prouvé que la plante du Harmel contient des alcaloïdes toxiques, tels que l'Harminine, le Harmalol et la Péganine, et que ces alcaloïdes affectent les ténias, en paralysant leurs mouvements et en les sortant de l'abdomen (العراقي، 1992).

II .7.2.5. L'activité antioxydante

Selon la même source (العراقي، 1992), l'évaluation de l'activité antioxydante des feuilles de *P. harmala* sur la peroxydation de l'acide linoléique, montre une efficacité d'inhibition pour l'extrait au méthanol (75,9% d'inhibition de la peroxydation), au butanol (67,8%) ainsi que pour l'extrait à l'acétate d'éthyle (60,8%), après incubation pendant 120 heures (5 jours).

En outre, une étude d'évaluation de l'effet de *P. harmala* contre des plasmodiums, a révélé, in vitro, une activité modérée contre *Plasmodium falciparum* (IC₅₀ de 8,0 µg/ml,

pour l'Harmine et de 25, µg/ml, pour l'harmaline). Cependant la vasicinone et la deoxyvasicinone n'ont pas montré d'effet à des concentrations supérieures à 10 µg/ml (ASTULLA et al., 2008).

Selon MAHMOUDIAN et al. (2002), l'Harmaline est presque deux fois plus toxique que l'harmine. À doses modérées, elle provoque des tremblements et des convulsions cloniques. Les doses létales apportées provoquent des convulsions, qui sont suivis par une paralysie motrice, due à l'action dépressive marquée sur le système nerveux central. La respiration est paralysée et une diminution de la température du corps se produit. Le cœur perfusé est arrêté en phase diastolique et les contractions du muscle lisse sont diminuées avec l'exception de l'utérus ; ce qui, peut-être, le fait contracter plus puissamment. Sur une large gamme de doses, il ya une réduction de la pression sanguine, en raison d'une faible renfor-prononcé du muscle cardiaque.

Le Harmel a des propriétés antioxydantes (KARTAL et al., 2003 ; DERAKHSHANFAR et al., 2009 ; BOUZIANE, 2012 ; ZHANG et al., 2013 ; et (الخرابي) 2013 (و آخرون). Des études ont prouvé que l'extrait du Harmel, au butanol, a une efficacité antioxydante (الخرابي و آخرون، 2013). L'étude de BOUZIANE (2012) a estimé l'activité antioxydante de divers extraits de graines du Harmel (EAq, EAe, EBr, EAq, EHx, Ech) Ses résultats ont montré que les différents extraits contiennent des quantités importantes de composés phénoliques et des flavonoïdes. De plus, le test DppH et la double inhibition de l'oxydation du β-carotène et de l'acide linoléique ont montré une activité antioxydante très hautement significative ($p < 0,001$), par rapport aux antioxydants typiques (acide gallique et BHT) (BOUZIANE, 2012).

II .7.2.6. Les autres activités

a) L'activité comme vasodilatation

Les alcaloïdes β-carboline et les dérivés de la quinazoline dilatent les vaisseaux sanguins, en inhibant la réhydratation de l'enzyme diester de l'adénine monophosphate (CAMP Phosphodiesterase). L'Harmine augmente la fréquence cardiaque, en conduisant à la fatigue (بطيحي، 2014). D'autres rapports ont montré l'effet des alcaloïdes de *P. harmala* sur le fonctionnement cardiaque (KARTAL et al., 2003).

b) L'activité comme agent d'avortement

Les graines de la plante du Harmel contiennent les alcaloïdes de la quinazoline Vasicine et de la Vasicinone qui provoquent l'avortement. Ces composés chimiques sont responsables de l'irritation de la paroi utérine, en stimulant la sécrétion de composés prostaglandiniques (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002 ; 2014, بطيحي).

c) L'activité comme anesthésique et analgésique :

Le complexe d'harmaline dans l'extrait de graines de la plante du Harmel se caractérise par une grande capacité à inhiber la réponse à la douleur de manière significative, en affectant le système nerveux central et le système nerveux périphérique où il se lie aux récepteurs du système opioïde (2014, بطيحي). Le Harmel est considéré comme un anesthésique, un stimulant du système nerveux et un analgésique (2010, السيد و حسين).

d) L'activité contre infections cutanées et plaies

De nombreuses recherches ont prouvé l'efficacité biologique de l'huile des graines du Harmel, dans le traitement des infections cutanées (2003, الحسيني). Les tanins de la plante sont également utilisés dans le traitement des infections cutanées pouvant résulter de l'infection de bactéries et d'autres micro-organismes (2012, جازع). Ils sont, également, considérés comme un antiprurigineux (DERAKHSHANFAR et *al.*, 2009).

De nombreux chercheurs ont également étudié l'effet de la plante du Harmel dans le traitement de certaines maladies de la peau, y compris l'étude de l'effet de l'extrait du Harmel dans la cicatrisation des plaies cutanées. L'étude a été réalisée sur des souris du type *Spargue dawelely*, où l'extrait a été utilisé sur la plaie par voie topique dans des conditions appropriées. Il y a noté que la peau guérissait et augmentait l'apport sanguin aux tissus et haussait, ainsi, le nombre de fibres à la suite de la production de collagène. En plus, la cicatrisation des tissus, la cicatrisation des plaies, la recicatrisation par la formation de tissu épithélial, en peu de temps, et une réduction rapide de la vacuole épithéliale. L'extrait de la plante du Harmel accélère la guérison et la cicatrisation des plaies cutanées (DERAKHSHANFAR et *al.*, 2009).

e) L'activité inhibitrice de l'enzyme ACHEI

Les graines de la plante du Harmel contiennent des composés β -carboline, qui se caractérisent par l'activité de l'inhibition inverse de l'enzyme ACHEI, en réduisant la dégradation des molécules d'acétylcholine et de dopamine ; augmentant ainsi l'efficacité du traitement de l'Alzheimer (2014، بطيحي).

f) L'activité antitumorale et anti-oncologique

Les alcaloïdes du Harmel agissent comme un antitumoral (DERAKHSHANFAR *et al.*, 2009 ; BOUZIANE, 2012). Les extraits des graines ont montré une grande efficacité contre diverses tumeurs malignes, tant sur le terrain qu'en laboratoire. Les graines du Harmel ont été utilisées dans le traitement du cancer de la peau, au Maroc (2013، الخزربي و آخرون).

Aussi, l'extrait de graines de *P. harmala* représente Quatre-vingt pour cent d'un remède local utilisé dans le traitement du cancer par un guérisseur local, en Iran. Des études montrent que le contenu de l'extrait de graines de *P. harmala* inhibent l'ADN topoisomérase humaine ; ce qui explique ses effets cytotoxiques sur des lignées cellulaires cancéreuses (ARMIN *et al.*, 2002).

Les β -Carboline de l'extrait méthanolique de graine du Harmel réduisent la réplication des cellules tumorales, au niveau expérimental, de nombreux types de cellules. Le taux de réplication diminue considérablement dans les premières 24 heures et les cellules meurent après 48 à 72 heures (2014، بطيحي).

D'après le mécanisme d'action décrit, les alcaloïdes sont incorporés dans le matériel génétique de la cellule, pendant la réplication, causant des dommages qui conduisent à l'induction de la mort cellulaire programmée. Ce mécanisme ne reste qu'une idée théorique, alors que l'explication la plus acceptée est que les alcaloïdes stimulent la transcription des facteurs de mort, en activant des molécules endogènes telles que P53. (2014، بطيحي).

g) Effets sur le plan neurologique

L'extrait de Harmal affecte le système nerveux central (2010) (السيد و حسين, JIN et LI-ZHE, 2009) car l'harmaline, un alcaloïde actif dans le (2008) (الأسدي, Harmel), s'est avéré être un stimulant du système nerveux central (2013) (الخرزبي و آخرون).

Les alcaloïdes β -carboline ont un effet toxique sur le système nerveux, car leur prolifération dans le corps humain et de nombreux animaux de laboratoire génèrent de graves tremblements. L'Harmane fait partie des alcaloïdes β -carboline qui provoquent l'état génératif de tremblements et est largement utilisé dans les études liées aux maladies épidémiques et à la plupart des troubles du mouvement. L'Harmane est parmi les alcaloïdes les plus courants dans les aliments, par rapport à toutes les amines hétérocycliques. Sa solubilité élevée dans les graisses provoque son accumulation dans les tissus cérébraux (2014) (بطيحي).

h) Prévention des rayonnements

Selon certaines sources, la plante du Harmel aurait la capacité de protéger contre les effets négatifs de certains rayons. LI et *al.*, a déclaré, en 1995, que les composés du, Harmol, Harmalol et Harmine ont un effet protecteur contre les rayons gamma (جازع, 2012).

i) Autres utilisations pharmaceutiques

Le Harmel a été utilisé dans le traitement de la dépression, au Yémen (الخرزبي و آخرون, 2013) ; pour son effet anxiolytique et comportemental (KARTAL et *al.*, 2003), comme un antispasmodique (KARTAL et *al.*, 2003 ; JIN et LI-ZHE, 2009), et un antipyrétique (JIN et LI-ZHE, 2009).

Les alcaloïdes du Harmel ont été, largement, utilisés dans le traitement de la paralysie, de l'encéphalite, des maux de gorge et du larynx, et des rhumatismes (1978) (العلمي). Ils sont considérés comme un antimutagène (2013) (الخرزبي و آخرون) et un agent stérilisant (DERAKHSHANFAR et *al.*, 2009) qui traite et nettoie les dents ainsi que le système reproducteur, car c'est un tonique pour l'excitation sexuelle (2010) (السيد و حسين).

II .7.3. Les utilisations agronomiques

Cette plante est plus ou moins nitrophile ou anthropozoogène, sans grande valeur pastorale (QUEZEL et SIMONNEAU, 1960). Elle est non broutée par les animaux (CHEHMA, 2006). Toutes les parties de la plante sont considérées pour être toxiques, et tous les animaux domestiques sont sensibles à l'intoxication par *P. harmala*, notamment les dromadaires. Les jeunes animaux sont les plus souvent touchés en saison sèche. Lorsque les pâturages sont rares, ânes et autres animaux domestiques peuvent être attirés et broutent de façon intermittente sur cette plante (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002).

Des syndromes digestifs et nerveux ont été signalés chez des animaux qui consomment une quantité sub létale de la plante. L'animal devient d'abord prostré, puis l'anorexie, l'hyper-salivation, des vomissements et de la diarrhée suivent. Habituellement, les syndromes nerveux prédominent : Les premiers signes sont l'excitabilité, suivie de tremblements et de raideurs musculaires, d'une démarche chancelante et inconfortable et d'une respiration accélérée. Il est impossible de se tenir debout, l'animal se met en position couchée. Il apparaît dans un état narcotique interrompu par de courtes périodes d'excitation occasionnelles. Après quelques heures, une dyspnée et une mydriase sont notées. Des mictions fréquentes et une température inférieure à la normale ont également été signalées chez les bovins. L'avortement est fréquent. L'évolution du syndrome nerveux est généralement rapide et la mort survient dans les 30 à 36 heures suivant l'apparition des signes d'intoxication chronique (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002).

En outre, des effets sur le système de reproduction : la tératogénicité et l'avortement sont fréquents chez les animaux qui digèrent cette plante dans une année sèche (MAHMOUDIAN et *al.*, 2002).

Dans une étude de l'effet nématocide contre *Meloidogyne* ssp., des nématodes à galles, des extraits aqueux de cinq plantes différentes, dont l'une est *P. harmala*, ont été testés. Les résultats obtenus ont révélé un pouvoir nématocide allant de 60% à 95%. En parallèle, la comparaison de l'efficacité des extraits aqueux avec celle du nématocide commercial (Vydate) utilisé comme témoin a montré que *P. harmala* a un effet similaire du produit commercial. Ce qui est probablement dû à la richesse des graines de cette plante en alcaloïdes (Harmine et harmaline, essentiellement) (El ALLAGUI et *al.*, 2007).

Également, l'effet de l'extrait des feuilles de *P. harmala* au stade végétatif ou au stade de fructification a été testé sur la survie, la prise de nourriture, le poids, le développement ovarien et la fécondité des femelles du *Schistocerca gregaria*, dans des conditions de laboratoire. Les résultats obtenus révèlent que l'extrait des feuilles (végétatif ou fructification) entraîne, chez les femelles, une diminution de la prise de nourriture, une baisse de poids et une réduction de la motricité (ABBASSI et al., 2003).

Dans une étude, menée par IDRISSE et HERMAS (2008), sur les effets toxiques de *P. harmala*, sur le tube digestif du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*, dans de recherche de produits naturels insecticides. Les résultats sont encourageants dans la mesure où l'alimentation avec *P. harmala* provoque une mortalité, aux stades larvaires, d'un taux de 45% et un blocage du développement ovarien, chez les femelles. Les observations histologiques, au niveau du tube digestif, montrent que *P. harmala* a des effets toxiques, certains, sur les cellules épithéliales du mésentéron de *S. gregaria*.

Également, une étude réalisée par BOUZIANE (2012), portée sur la toxicité d'extraits foliaire du Harmel, vis-à-vis des larves L5 et des adultes de *Schistocerca gregaria*., a montré une mortalité de 8,33% chez les larves L5, et la totalité des individus sont mort au 17^{ème} jour.

Dans l'utilisation des pesticides, la pollution et les effets négatifs, sur les organismes vivants, et la perturbation de l'équilibre écologique, en plus des coûts élevés, ont incité les experts à rechercher d'autres alternatives telles que l'utilisation de produits végétaux naturels. De nombreuses études ont montré l'importance de l'utilisation d'extraits de plantes dans la lutte contre de nombreux insectes agricoles et vétérinaires (2013, الحديدي).

Dans la méthode courante de protection des grains contre les insectes nuisibles, on procède à l'enrobage des grains avec de faibles concentrations de pesticides phosphorés. Cette technique présente plusieurs inconvénients, notamment la résistance des insectes nuisibles à ces concentrations de pesticides, la pollution de l'environnement et le fait de laisser une odeur et un goût indésirables sur les grains. Dans une étude visant à fournir une alternative propre et écologiquement rationnelle, des extraits de graines du Harmel ont été utilisés de sorte à ne pas affecter les organismes vivants et fournir une protection efficace contre les infestations de ravageurs (2003, الحسيني).

Plusieurs études ont montré l'importance des extraits de graines et de feuilles du Harmel. Ils contiennent des composés toxiques efficaces, notamment le composé toxique Harmaline, contre de nombreux insectes. Ils ont obtenu des résultats significatifs dans la lutte contre le dendroctone rouilleux (*Tribolium castaneum*), la mouche domestique (*Musca domestica*), le moustique Culex (*Culex pipens*), les bactéries intestinales, l'amibe et le champignon (*Mauginiella Scaettae*), le coléoptère « Scarabée Khapra » (*Trogoderma granarium* Everts) et les fourmis (*Aphaenogaster muschtidica* Emery) (الحميدي، 2013).

Une étude consacrée à l'utilisation d'extraits de chloroforme et d'hexane de graines du Harmel pour la protection des grains de blé contre l'infestation par (*Trogoderma granarium* everts). Il a été révélé un effet toxique de toutes les concentrations de ces extraits sur les phases immatures et les insectes entiers. Dans tous les traitements, l'extrait de chloroforme surpassait l'extrait d'hexane en efficacité. Ainsi, il y a une différence dans l'activité de extraits dans la mise à mort des œufs. Ces huiles présentent une capacité extrême à pénétrer la coquille extérieure de l'œuf et à tuer le fœtus à un stade de croissance précoce, en particulier l'extrait de chloroforme ; indiquant, ainsi, que la teneur en huile était plus élevée dans l'extrait de chloroforme (الحسيني، 2003).

II .8. TOXICITE

Selon ANDREW (2001), le Harmel est utilisé depuis l'Antiquité comme agent d'empoisonnement, au Moyen-Orient. Mais, il n'a pas été utilisée aujourd'hui dans la phytothérapie occidentale, en raison de sa toxicité potentielle .

De nombreux chercheurs comme (التكروري، 2008) ont étudié l'importance du Harmel, comme plante sauvage locale, dans le traitement humain, chez certains habitants du désert jordanien. L'analyse de questionnaires sur l'utilisation de la plante dans un échantillon de 500 individus, d'une, même région, a montré que seulement 0,2% des individus ont bénéficié de l'utilisation du Harmel, ce qui indique que la majorité de ces individus n'utilisent pas le Harmel et n'ont pas bénéficié de ses avantages médicaux car elle est considérée comme Plante toxique.

L'Homme est également exposé à l'empoisonnement dû à l'utilisation aveugle de la plante du Harmel. Cependant, les animaux domestiques sont empoisonnés par le Harmel

lors du pâturage pendant les saisons sèches (2014، بطيحي). Les feuilles du Harmel sont nocives pour les ruminants. Après les avoir broutées, quotidiennement, pendant une longue période (2002 (علي و الحسين، 2002) ; MAHMOUDIAN et *al.*, 2002). Les symptômes de l’empoisonnement sont l’épuisement, la fatigue extrême, la tension et un trouble dans le mouvement des muscles volontaires. Il en résulte une incapacité à se tenir debout, en raison de la faiblesse des membres postérieurs, de l’augmentation de la salivation, des nausées et de la diarrhée. Les symptômes résultant d’une lésion du système nerveux sont prédominants, tout comme l’augmentation de la fréquence respiratoire, le changement de température et la perte d’appétit (2014، بطيحي). Les doses toxiques entraînent un affaiblissement du système central, accompagné d’une altération des fonctions motrices : troubles de la respiration, hypotension, affaiblissement des muscles cardiaques et hypothermie (BOUZIANE, 2012 ; ASLAM et al, 2014), et provoque des rhumes chez les personnes souffrant d’allergies particulières (2010، السيد و حسين).

Les rapports ont également révélé deux cas d’empoisonnement du Harmel, chez les femmes enceintes, où l’hypertension utérine a causé le premier cas et le décollement placentaire pour le second, sans détérioration de l’état de santé de la mère et du fœtus (ACHOUR et *al.*, 2012). Il semble que la petite contraction des muscles imprévue et l’excitation des convulsions sont produites par l’action conjuguée de l’Harmine et l’harmaline (BOUZIANE, 2012).

Selon (2014، بطيحي), les symptômes d’empoisonnement apparaissent immédiatement après l’injection intraveineuse, de l’animal de laboratoire, avec des composés Harmine et Harmaline, à une concentration de 9 mg / kg. Le tableau 20 représente les doses létales les plus importantes.

Tableau 20 : Doses létales selon le comportement des organes et des animaux, expérimentaux, aux alcaloïdes β -carbolines les plus importants (2014، بطيحي).

Alcaloïde	Type d’injection	Animal	Dose applicable mg/kg
Harmaline	Sous-cutanée	Rats	120
Harmine	Intraveineuse	Souris	38
Harmane	Sous-cutanée	Lapin	200
Harmine	Sous-cutanée	Rats	200

L'étude de la toxicité aiguë, de l'extrait brut, a montré que les composés de la plante du Harmel entrent dans la catégorie des substances peu toxiques, où la DL50 était estimée à 2,8585 g / kg. Cependant, le traitement semi-aigu, à une dose de 285,8 mg / kg, par voie orale, pendant une période de quatre semaines, entraîne une diminution de certains indicateurs sanguins (hémoglobine et globules rouges) accompagnée d'une augmentation du nombre de globules blancs ($P < 0,05$) (BOUZIANE, 2012).

Une étude réalisée par MUHI ELDEN et *al.*, (2008) a également fait l'éloge du fait que l'extrait aqueux du Harmel était mortel, pour les rats, avec une dose létale de 420 mg / kg (2003 (الحسيني)). De fortes doses peuvent provoquer des effets hallucinogènes (KARTAL et *al.*, 2003) ; une utilisation trop fréquente est, ainsi, déconseillée (ANDREW, 2001).

Dans une étude visant à évaluer la cytotoxicité d'extraits aqueux et alcooliques sur des érythrocytes humains, selon la méthode XIAN-GUO et URSULA (1994), les résultats établis sont consignés dans le tableau 21.

Tableau 21 : Résultats de l'étude de la cytotoxicité des extraits aqueux et alcooliques de feuilles de Harmal (2012، جازع).

(+) : résultat positif (-) : résultat négatif

	Extrait aqueux	Extrait alcoolique	Eau du robinet	Solution saline physiologique
Hémolyse	+	+	+	-

Les résultats de cette étude sont importants parce que certains composés végétaux sont toxiques par nature et donc leur innocuité est très nécessaire, en particulier lorsqu'ils sont utilisés comme matériaux stériles ou désinfectants (2012، جازع).

En ce qui concerne les indicateurs biochimiques, une augmentation significative des taux d'alcène phosphatase, de bilirubine et d'acide urique a été constatée.

Cependant, les résultats de l'analyse d'urine n'ont montré aucune différence dans les indicateurs étudiés, à l'exception d'une légère variation du pourcentage de sucre. Au niveau histologique, de nombreux changements ont été observés au niveau des tissus hépatiques et rénaux ; ce qui confirme les résultats biochimiques obtenus. Il est connu, depuis longtemps, que la plante cause de nombreux dysfonctionnements hépatiques ou rénaux (BOUZIANE, 2012).

L'étude de la toxicité aiguë et subaiguë, de l'extrait total d'alcaloïdes de graines du Harmel, sur des rats femelles du type *albinos wistar* a permis de déterminer la valeur de la DL50 (69,34 mg/kg), par la voie de l'injection sous-péritonéale. L'étude histologique du foie, des reins et du cerveau a montré la présence de lésions cellulaires localisées, la congestion sanguine, la diminution de la taille d'un nombre limité d'unités de filtration glomérulaire et la prolifération d'œdèmes dans les tissus cérébraux (2014، بطيحي).

PARTIE
EXPERIMENTALE

CHAPITRE III

**LA COMPOSITION CHIMIQUE
DES ECHANTILLONS DES
PLANTES ET DES SOLS**

III.1. L'OBJECTIF

L'objectif de ce travail est l'étude des effets de la salinité sur le comportement physiologique et biochimique de *P. harmala* L., en testant ses métabolites secondaires et, précisément, les alcaloïdes, quantitativement et qualitativement, afin de déterminer la possibilité de l'exploitation de cette plante en milieu salin.

Pour cela, nous avons collecté le Harmel de deux sites de sol salin et deux autres sites de sol non salin. Les graines et la biomasse végétale récoltées sont soumises à différents tests biologiques, en vue de la mise en évidence des propriétés de l'un et de l'autre.

III.2. MATERIEL ET METHODES

III.2.1. Les lieux et les conditions d'étude

L'ensemble des travaux expérimentaux sont réalisés au département d'agronomie, à l'Université Amar TELIDJI (Laghouat), pendant la période de 2014 à 2023.

III.2.2. La matière biologique utilisée

Pour la réalisation de l'ensemble de nos travaux nous avons utilisé *P. harmala* prélevée de quatre sites géographiques (« El assafia » et « Bennacer Benchohra » à Laghouat, « Hadjer El Melh » à Djelfa et « Boughezoul » à Media). Au fur et à mesure avec la collecte de la matière végétale du Harmel, nous avons prélevé un échantillon du sol de chaque site. Le tableau 22 et la figure 16 montrent la position et les caractéristiques de ces sites.

Tableau 22 : Les coordonnées géographiques des sites échantillonnés

Site	Paramètres	Code	Les coordonnées géographiques
Site 1 – El assafia		S	33°49'5.51"N 2°58'13.06"E
Site 2 - Hadjer El Melh		J	34°50'2.88"N 3° 5'59.01"E
Site 3 - Bennacer Benchohra		N	33°48'39.54"N 3° 3'47.69"E
Site 4 – Boughezoul		B	35°44'1.04"N 2°49'23.81"E

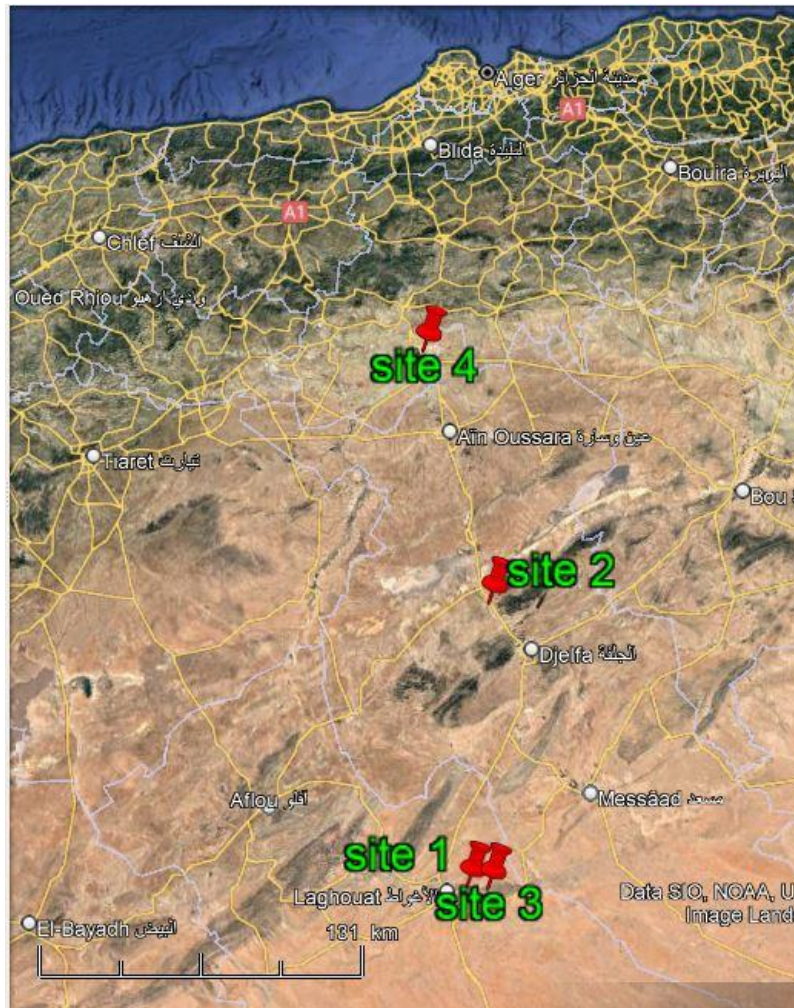


Figure 16 : Situation géographique des quatre sites échantillonnés

III.2.3. Mode de prélèvement du Harmel (récolte-séchage-broyage)

Deux échantillons de *P. harmala* ont été prélevés sur chaque site. Le premier, la biomasse végétale (feuilles, tiges, fleurs), a été effectué au mois de mai (en pleine floraison) et le second, les graines, à la mi-juillet (au stade maturité).

Pour la biomasse végétale, nous avons, d'abord, séparé de grandes quantités d'organes (feuilles, fleurs et tiges). Nous les avons séchées à l'ombre puis broyées et conservées, jusqu'à l'heure d'utilisation. De plus, nous avons séché et broyé une autre quantité de biomasse telle quelle (mélange) (figure 17 et 18).

Pour les graines, nous avons commencé par écraser les fruits, à la main, puis appliqué une série de tamis pour obtenir des graines propres que nous avons, par la suite broyées et conservées.



Figure 17 : Des organes végétaux du Harmel (feuille-fleur-tige) séparés.



Figure 18 : L'ensemble des échantillons de la poudre végétale des quatre sites et des quatre organes (graine-feuille-fleur-tige)

III.2.4. Les paramètres mesurés

III.2.4.1. Détermination du taux de matière sèche (MS%)

Pour déterminer le taux de matière sèche, pour chaque site, nous avons prélevé trois échantillons de matériel végétal frais, pesé leur poids frais et les avons placés dans l'étuve à 60°C jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant, puis calculé le pourcentage de matière sèche.

III.2.4.2. Extraction et dosage de la proline

Le dosage de la proline a été effectué par la méthode de TROLL et LINDSEY (1955). Un échantillon de 100 mg de matière fraîche a été prélevé, sur le tiers médian foliaire, et placés dans un tube à essai auquel nous avons ajouté 2 ml de méthanol à 40%. L'échantillon est chauffé, pendant 1 heure dans un bain-marie à 85°C. Après refroidissement, 1 ml de la solution d'extraction est ajouté à 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml du mélange (120ml eau distillée + 300ml d'acide acétique + 80 ml d'acide orthophosphorique). L'ensemble est porté à ébullition, pendant 30 minutes, au bain marie. Après refroidissement, nous avons additionné 5 ml de toluène et après agitation, au vortex, nous avons procédé à la lecture à une longueur d'onde à 528nm. La proline est exprimée en $\mu\text{g.g}^{-1}$ de matière fraîche.

III.2.4.3. Extraction et dosage du sucre soluble

Le dosage du sucre a été déterminé par la méthode au phénol de DUBOIS *et al.*, (1956). Un échantillon de 100 mg de matière fraîche a été prélevé, sur le tiers médian foliaire, et placés dans un tube à essai auquel nous avons ajouté 3 ml de méthanol à 80 %. L'échantillon a été mis à l'obscurité, pendant 48 heures, puis séché à l'étuve à 85°C. Après refroidissement, 20 ml d'eau distillée sont ajoutés au tube puis 1 ml, de ce tube, est prélevé et mis dans un autre tube où on ajoute 1ml d'une solution de phénol à 5% et 5ml d'acide sulfurique pure. Après agitation au vortex, le tube est laissé au bain marie pendant 10 minutes, à 30°C. Par la suite, nous avons procédé à la lecture, à une longueur d'onde de 485nm. Le taux de sucre est exprimé en mg.g^{-1} de matière fraîche.

III.2.4.4. Dosages des éléments minéraux

Pour mieux connaître la composition minérale des sols et des végétaux (chaque organe séparément), nous avons réalisé les dosages des éléments minéraux de l'ensemble des échantillons. Le K^+ , le Ca^{++} , le S^{-2} , le Cl^- , le Fe , et le P ont été dosés au niveau du CRAPC de Laghouat, par FRX, à l'état solide (sous forme de poudre). Cependant, le Na^+ a été dosé par photomètre à flamme et le Mg^{++} par la méthode titrimétrique à l'EDTA, au laboratoire horizon à Annaba.

III.2.4.5. Extraction des alcaloïdes

Pour l'extraction des alcaloïdes de différents organes de la plante (feuille, tige, fleur et graine), nous avons procédé à l'extraction de type liquide – liquide, selon la méthode de ROSS et RAIN (1977) modifiée par BENAROUS (2014).

La procédure consiste à prendre une quantité de 25g de la poudre végétale et la macérer dans 200ml de HCl à 10%, pendant 48 h, à température ambiante. Après filtration, nous avons ajouté à la phase aqueuse de chaque extrait un volume de 100 ml d'Ammoniaque (NH_4OH) à 25%. Nous y avons ajouté 200ml de chloroforme, en deux reprises. Après séparation, la phase liquide est séchée avec du sulfate de sodium anhydre Na_2SO_4 , pour éliminer toutes traces d'eau. Le filtrat est, par la suite, évaporé (dans un Rotavapor) à sec, sous pression réduite et à 40°C . Le résidu est pesé et conservé à $+4^\circ\text{C}$ (Figure 19). Au moment de l'utilisation, le résidu sec est récupéré par la solubilisation dans du DMSO.

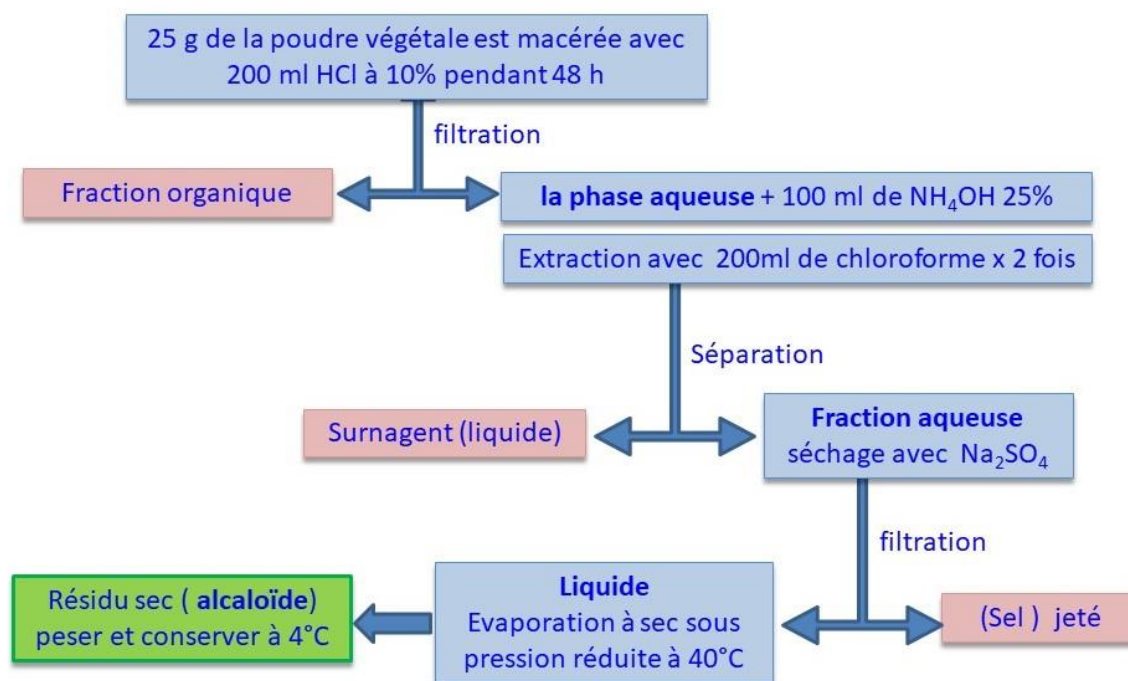


Figure 19 : Procédure d'extraction des alcaloïdes de *P. harmala*

III.2.5. L'analyse statistique

III.2.5.1. Analyse de variance

Pour l'analyse statistique des résultats obtenus, nous avons utilisé (dans ce chapitre et les chapitres ultérieurs) le logiciel STATBOX version 7.2. Nous avons calculé la variance à un seul facteur et à deux facteurs, par le test de Fisher-Snedecor, au seuil de risque 5%. Nous avons effectué la comparaison multiple des moyennes, par le test de Newman et Keuls, pour l'identification des groupements homogènes.

III.2.5.2. Analyse de corrélation

Les analyses de corrélation ont été effectuées, uniquement, pour les paramètres mesurés des échantillons du sol et des végétaux, des quatre sites étudiés. Elles ont été calculées par le logiciel de SPSS version 20.

III.3. RESULTATS

III.3.1. Les caractéristiques édaphiques des sites de prélèvement

Les résultats obtenus par les analyses des échantillons de végétaux et de sols (tableau 23) indiquent des valeurs différentes en CE ; ce qui apparaît logique avec la variation de la composition minérale d'un site à un autre.

Tableau 23 : Les paramètres édaphiques des sites d'échantillonnés

	Site 1 (S)	Site 2 (J)	Site 3 (N)	Site 4 (B)
CE (1/5) (mS/cm)	0,87	3,12	0,22	1,56
pH (1/10)	8,31	8,02	8,6	7,75
Na ⁺ %du sol	0,084	0,165	0,168	0,158
K ⁺ %du sol	0,76	0,97	0,99	0,89
Ca ⁺⁺ %du sol	11,65	5,83	6,45	8,35
Mg ⁺⁺ %du sol	0,035	0,61	0,046	0,61
Cl ⁻ %du sol	0,12	0,54	0,01	3,88
S ⁻² %du sol	0,29	0,53	0,04	1,58
Fe %du sol	1,21	3,22	1,22	1,86
P %du sol	0,00	0,00	0,00	0,00

Selon le tableau 23, nous pouvons exprimer les remarques suivantes :

- Quantitativement (moyenne), du plus grand au plus petit, les éléments minéraux sont dans l'ordre suivant : Ca^{++} , Fe^{+3} , Cl^- , K^+ , S^{-2} , Mg^{++} , et Na^+ .
- Le calcium est plus important dans le site 1 (11,65%),
- Le potassium est plus élevé dans les sites 2 et 3 (0,97 ; 0,99%),
- Le sodium est plus élevé dans les sites 3, 2 puis 4 (0,165 ; 0,168 ; 0,158),
- Le magnésium est très abondant dans les sites 2 et 4 (0,61%),
- Le chlore et le soufre sont plus élevés dans le site 4 (3,88 et 1,58%),
- Le fer est plus important dans le site 2 (3,22%).

En plus, il apparaît que sans compter le calcium, les sites 2 et 4 semblent être les plus chargés en sel.

III.3.2. Les caractéristiques physiologiques des échantillons végétaux

L'analyse de la variance pour la matière sèche et le sucre ne montre aucune différence significative entre les quatre sites. Cependant, la différence est hautement significative pour la proline (annexe 01). Par ailleurs, Nous avons constaté un taux de matière sèche légèrement inférieur au niveau des sites 2 et 4 (plus chargé en sel), par rapport aux deux autres sites (tableau 24 et figure 20).

Tableau 24 : Les paramètres physiologiques des échantillons végétaux

	Site 1 (S)	Site 2 (J)	Site 3 (N)	Site 4 (B)
%MS	27,61 ±1,87	25,43 ±4,00	28,83 ±0,809	25,50 ±3,593
Sucre	49,93 6,72	44,86 ±3,91	52,26 ±2,96	47,32 ±6,04
Proline	183,56 ±11,28 A	135,54 ±1,62 B	138,03 ±2,49 B	144,49 ±5,97 B

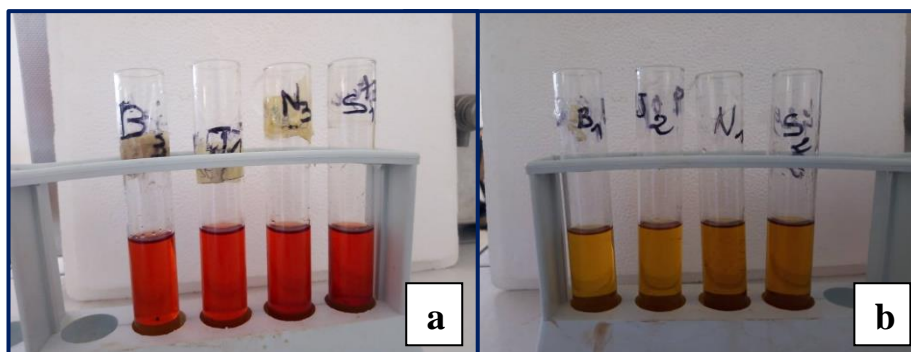


Figure 20 : Les résultats de dosage de proline (a) et de sucre (b) chez les quatre échantillons du Harmel

D'après les résultats du dosage quantitatif des alcaloïdes, illustré par la figure 21, nous enregistrons que, comparées aux feuilles, aux tiges et aux fleurs, les graines sont plus riches en alcaloïdes ; avec des rendements supérieurs à 2 %, dans tous les sites. Au deuxième niveau, on trouve les feuilles et les tiges, avec un rendement d'environ 1,5% ; sauf pour les feuilles du site 4 qui présente un rendement de 0,815%. En excluant le site 2, les fleurs sont au troisième niveau, avec des teneurs allant de 0,7 à 1,46%.

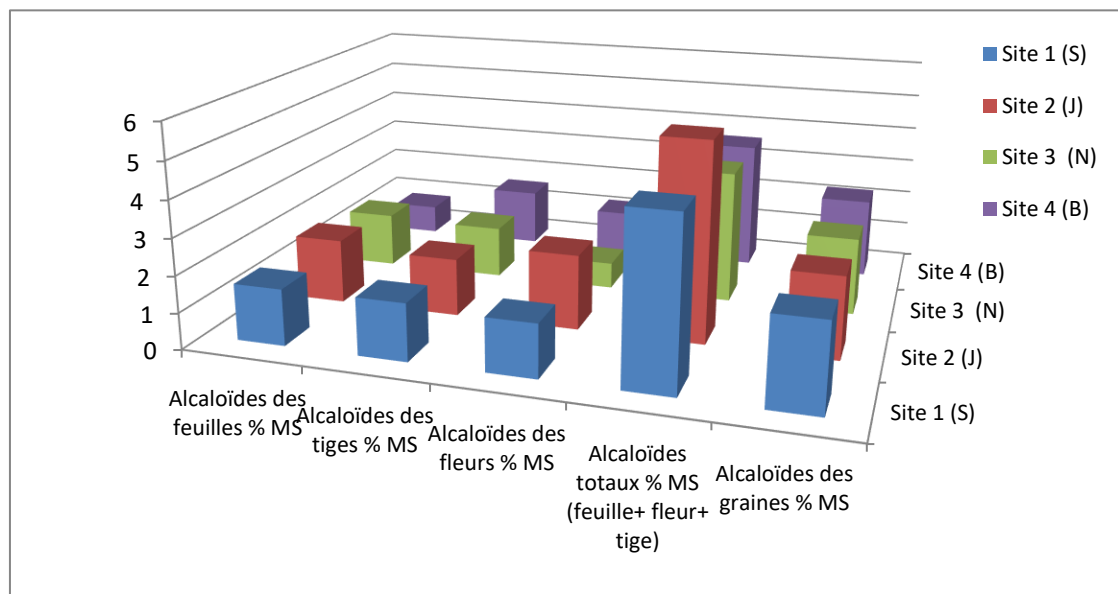


Figure 21 : Les teneurs des alcaloïdes par site et par organe

III.3.3. La composition minérale des échantillons végétaux

Les résultats du dosage quantitatif des éléments minéraux présentés dans le tableau 25 sont organisés par site et par organe, avec la somme des minéraux dosés pour chaque organe, ainsi que la somme / la moyenne, pour chaque minéral afin de déterminer la quantité globale des minéraux dosés par organe ainsi que le niveau de dominance de ces minéraux.

Tableau 25 : La quantité des minéraux en fonction des sites et des organes du végétale (% MS)

		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	S	P	Fe	Total
Site 1	Graine	4,57	6,56	1,24	0,42	1,31	0,24	0,01	0,04	14,39
	Feuille	3,98	6,23	2,92	0,26	1,28	0,32	0,00	0,18	15,17
	Fleur	1,33	5,03	2,18	0,34	1,47	0,32	0,09	0,05	10,81
	Tige	1,18	4,54	5,09	0,47	1,00	0,16	0,00	0,09	12,53

Site 2	Graine	2,90	5,90	1,05	0,48	1,45	0,24	0,08	0,09	12,19
	Feuille	13,35	3,11	2,28	0,10	4,95	0,54	0,04	0,15	24,52
	Fleur	6,34	4,12	1,40	0,06	2,46	0,30	0,15	0,02	14,85
	Tige	1,26	4,30	2,35	0,56	1,91	0,15	0,06	0,07	10,66
Site 3	Graine	3,78	1,83	0,41	0,28	0,69	0,09	0,02	0,02	7,12
	Feuille	4,48	4,39	3,17	0,30	1,41	0,38	0,00	0,12	14,25
	Fleur	1,64	4,33	1,84	0,51	1,36	0,27	0,09	0,05	10,09
	Tige	1,94	4,94	4,72	0,87	0,96	0,18	0,00	0,10	13,71
Site 4	Graine	3,50	4,31	0,80	0,16	0,57	0,18	0,03	0,06	9,61
	Feuille	9,71	1,71	2,16	0,38	3,65	0,40	0,03	0,21	18,25
	Fleur	4,00	4,42	1,36	0,30	2,80	0,27	0,12	0,05	13,32
	Tige	3,30	4,82	2,65	0,95	2,39	0,17	0,06	0,07	14,41
Moyenne		4,20	4,41	2,23	0,40	1,85	0,26	0,07	0,09	

Nous pouvons aussi organiser les végétaux selon leurs origines et leur richesse minérale (la somme des minéraux par site) dans l'ordre suivant : le site 1 (62,22), le site 4 (55,60), le site 2 (52,90), puis le site 3 (45,19).

Également, nous pouvons mettre dans l'ordre les éléments minéraux en fonction de leurs présence quantitative globale dans le végétale comme suit : K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Cl^- , Mg^{++} , S, Fe, puis P.

En outre, l'observation des contenus minéraux des organes, nous a amené noter que :

- Les feuilles sont les plus riches en minéraux (la somme des minéraux dosés) (18,07%), suivies par les tiges (12,86%), puis les fleurs (12,27%), et en fin les graines (10,85%).
- Les feuilles sont les plus riches en Na^+ , Cl^- , S^{-2} et Fe, avec quelques exceptions ;
- Les tiges sont les plus riches en K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} ;
- Les graines sont les plus riches en K^+ .

De plus, les deux sites de Laghouat (site 1 et 3 ; CE la plus faible) ne contiennent pas de P dans les feuilles et les fleurs. Ainsi, les sites 1 (Hadjer El Melh « Djelfa ») et 2 (Boughezoul) présentent les feuilles les plus riches en Na^+ et en Cl^- .

D'après la figure 22, nous pouvons formuler les remarques suivantes :

- Les rapports les plus importants sont $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$, K^+/Na^+ , Na^+/Cl^- , et $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, respectivement ;
- Le rapport K^+/Na^+ est plus élevée dans les tiges puis dans les fleurs ;
- Le rapport $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ est le plus élevée au niveau des feuilles ;
- Le rapport $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ est le plus élevée au niveau des graines.

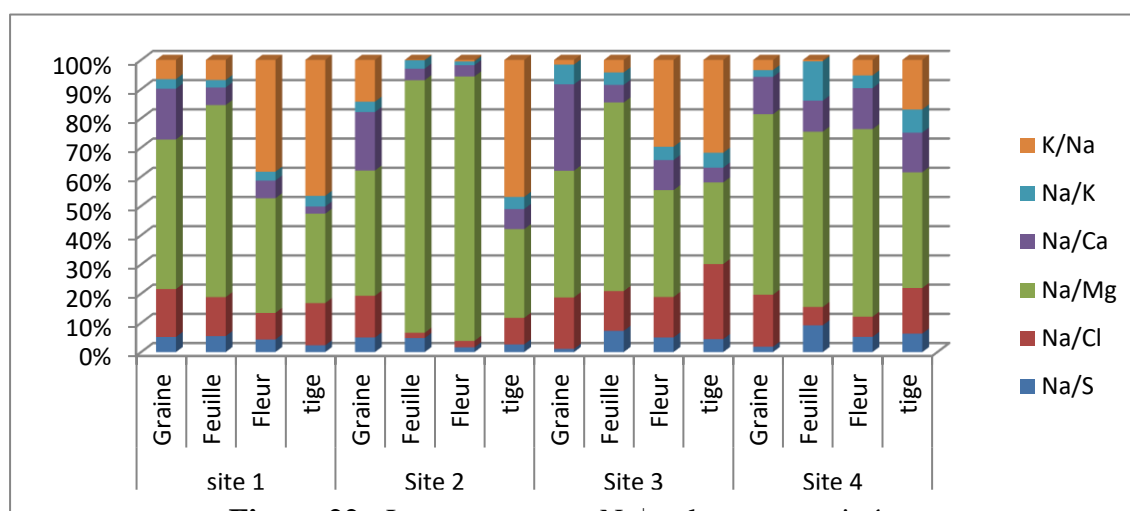


Figure 22 : Le rapport entre Na^+ et les autres minéraux en fonction des sites et des organes végétaux

III.3.4. Les analyses de corrélation

L'analyse statistique révèle des corrélations négatives (annexes 02, 03, 04 et 05) du taux de sucre et le pourcentage de la matière sèche avec la teneur du sol en Mg^{++} (-0,987 ; -0,949) et avec la teneur du sol en S (-0,978 et -0,906). Aussi, ces deux paramètres sont en relation négative avec la quantité de Cl^- dans les feuilles (-0,903 ; -0,907), les tiges (-0,976 ; -0,918) et les fleurs (-0,979 ; -0,95), et en relation positive avec le calcium dans les feuilles (0,941 ; 0,989) et les tiges (0,976 ; 0,914). De plus, il existe une corrélation positive entre le taux de sucre et la dose de potassium dans les feuilles (0,947). Ces

corrélations sont confirmées par la relation entre ces deux paramètres et les rapports Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ et Na^+/Cl^- au niveau des feuilles.

La quantité de proline est en corrélation positive avec le rapport Na^+/S dans les feuilles (0,926).

Aussi, il y a une corrélation négative entre la teneur des alcaloïdes des feuilles et le taux de Cl^- (-0,923) dans le sol, et une relation positive entre le taux de Fe (0,950) du sol et la teneur des alcaloïdes des fleurs.

De plus, les résultats de corrélation montrent que les taux des alcaloïdes au niveau des graines est en relation positive avec leurs teneurs en K^+ (0,953), Ca^{++} (0,942), et S (0,950), , alors qu'ils sont en corrélation négative avec les rapports Na^+/K^+ (-0,962) et $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ (-0,956).

Pour le taux des alcaloïdes des feuilles, la corrélation est négative avec la quantité de chlore dans le sol (-0,923), et la quantité de Na^+ (-0,951) au niveau des tiges, ainsi qu'avec le rapport Na^+/K^+ (-0,971) et le rapport $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ (-0,959) dans ces derniers. Cependant, la corrélation est négative avec le rapport $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ (-0,972) et positive avec le taux de Mg (0,908), au niveau des graines.

De plus, les alcaloïdes des fleurs, corrélient positivement avec le rapport $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$, au niveau des fleurs (0,954), et au niveau des feuilles (0,953). Ces alcaloïdes présentent une corrélation négative avec le Fe (-0,952) et le Mg^{++} (-0,957), au niveau des fleurs. Cette relation est positive avec le fer du sol (0,903) et le rapport K^+/Na^+ (0,933), des graines et négative avec le K^+ (-0,938), le S (-0,928) et le rapport Na^+/Cl^- (-0,927), des tiges.

III.4. DISCUSSION

Dans l'étude de la composition minérale, nos résultats sont conformes aux normes relatant que les tissus végétaux nécessitent des concentrations égales ou inférieures à 100 mg/kg de poids sec d'oligo-éléments et à 1000 mg/kg ou plus de poids sec de macroéléments (FARAGO,1994). Pour plus de précisions, ces normes sont de l'ordre de 1,4 à 5,5% de MS pour K^+ (عبد الهادي و آخرون، 2009), de 0,1 à 2% pour S, de 0,1 à 0,86%

pour P, de 0,02 à 2,5% pour Mg^{++} , de 0,25 à 3,85% pour Ca^{++} , de 0,9 à 25 mg/Kg pour Cl^- et de 50 à 225 mg/Kg pour Fe (BARKER et PILBEAM, 2006).

Dans l'ensemble, nos résultats restent inférieurs à ceux de WEBER *et al.*, (2007), qui ont déclaré que les graines des plantes des régions salines peuvent atteindre une teneur en cendres de 35%. Nos résultats sont tout à fait cohérents avec ceux de DAVID *et al.*, (2001), qui indiquent que l'absorption d'ions par les plantes dépendait, en grande partie, de leur disponibilité dans le sol. Lorsque ces ions fluctuaient dans le sol, par des mouvements ascendants ou descendants (les périodes sèches et les périodes humides), leur absorption par les plantes était également affectée : le sodium et le potassium étaient parmi les principaux cations et le chlore parmi les anions absorbés par les halophytes en grande quantité.

Ces quantités de minéraux sont interprétées par plusieurs auteurs qui déclarent que le chlore est nécessaire pour la réaction de séparation de l'eau de la photosynthèse à travers laquelle l'oxygène est produit. En plus, le chlore peut être nécessaire pour la division cellulaire dans les feuilles et les racines (TAIZ et ZEIGER, 2003). En outre, dans des conditions salines, une grande partie du nitrate vacuolaire peut être remplacée par du chlorure (BARKER et PILBEAM, 2006 ; TAIZ et ZEIGER ; 2003).

De même, la grande quantité de potassium décelée s'explique par la relation positive entre l'apport en K^+ et la photosynthèse (CELIO et ANDRD, 1989 ; KOZLOWSKI et PALLARDY, 1997). Elle participe également à l'activation enzymatique, la synthèse des protéines, l'osmorégulation, l'ouverture et la fermeture des stomates, et à l'expansion cellulaire (KOZLOWSKI et PALLARDY, 1997).

Le rapport K^+/Na^+ dans les tissus végétaux indique une sélectivité pour l'absorption du K^+ , une caractéristique généralement considérée comme unique aux halophytes (DAVID *et al.*, 2001). Dans des conditions physiologiques typiques, les plantes maintiennent un rapport K^+/Na^+ élevé dans leur cytosol avec des concentrations relativement élevées de K^+ (100–200 mM) et de faibles concentrations de Na^+ (1–10 mM). Compte tenu de la différence négative de potentiel de membrane électrique, au niveau de la membrane plasmique (-140 mV), une augmentation des concentrations extracellulaires de Na^+ établira un important gradient de potentiel électrochimique Na^+ qui favorisera le

transport passif du sodium de l'environnement vers le cytosol (BLUMWALD et *al.*, 2000). L'exemple, peut-être, le plus frappant de discrimination K^+ et Na^+ du transport dans les plantes se trouve dans les glandes à sel des halophytes qui excrètent spécifiquement les sels de Na^+ et avec peu de perte de K^+ (CELIO et ANDRD, 1989).

La salinité impose deux types de stress aux tissus végétaux : (1) un déficit hydrique qui résulte des concentrations relativement élevées de soluté dans le sol ; et (2) les contraintes spécifiques aux ions résultant de la modification des rapports K^+/Na^+ et des concentrations d'ions Na^+ et Cl^- qui sont néfastes aux plantes (BLUMWALD et *al.*, 2000).

Nous supposons que la forte accumulation des minéraux dans les organes végétatifs (feuilles, plus ou moins de tiges), comparés aux organes reproducteurs (fleurs et graines), est due à la mobilité des minéraux et des métabolites, qui migrent des organes végétatifs vers les organes reproducteurs. Cette translocation a été confirmée depuis des dizaines d'années par de nombreux chercheurs (CELIO et ANDRD, 1989 ; BARKER et PILBEAM, 2006 ; HENDRIX, 2002). Nous pouvons ajouter que cette répartition des minéraux s'explique par la période de récolte (plein floraison), qui est une phase de transition des réserves depuis les feuilles et les tiges, vers les graines à la fin de cycle.

Par ailleurs, l'accumulation importante de Na^+ , Cl^- , S, et Fe dans les feuilles, est due aux activités métaboliques et précisément la photosynthèse. Par conséquent, en plus du Cl^- , mentionné ci-dessus, cette interprétation est étayée par BARKER et PILBEAM (2006) et KOZLOWSKI et PALLARDY (1997), qui indiquaient que la grande proportion de fer est localisée dans les chloroplastes des feuilles. Les besoins en fer dans certaines enzymes hèmes et son implication dans la fabrication des groupes hèmes. En général, le fer a une fonction dans les protéines Fe-S, ayant une forte implication dans les réactions dépendant de la lumière de la photosynthèse (BARKER et PILBEAM, 2006).

Le fer est, relativement, immobile. Il ne migre pas hors des tissus plus âgés. Ainsi, le soufre n'est pas facilement remobilisé vers les jeunes feuilles, chez la plupart des espèces. C'est un élément essentiel pour la croissance et le fonctionnement physiologique des plantes. C'est un constituant de plusieurs coenzymes et vitamines essentiels au métabolisme (KOZLOWSKI et PALLARDY, 1997). En plus, le sulfolipide végétal le plus

abondant, le sulfoquinovosyl diacylglycérol, est principalement présent dans les feuilles, où il représente jusqu'à 3 à 6% du soufre total (BARKER et PILBEAM, 2006).

Le pourcentage, plus élevé, de Na^+ dans les feuilles et en particulier dans les sites riches en sodium (sites 2, 3 et 4), par rapport à d'autres organes, nous amène à proposer deux hypothèses : la première est que cette espèce a un mécanisme pour évacuer l'excès de sodium à travers les feuilles. Cette idée est confirmée par certains auteurs tels que HAMLYN *et al.*, (1993), DAVID *et al.*, (2001) et SHABALA (2017). La seconde est que les plantes halophytes ont la capacité de remplacer le potassium par le sodium en excès (BARKER et PILBEAM, 2006 ; CELIO et ANDRD, 1989). Ce remplacement de potassium par le sodium dans les parties comestibles des cultures varie de 1 %, pour le blé et le riz, à 90 %, pour la betterave rouge (*Beta vulgaris* L.) (BARKER et PILBEAM, 2006).

En revanche, la faible quantité de K^+ , de Ca^{++} et de Mg^{++} , dans les feuilles, par rapport au Na^+ , est très compliqué et très difficile à expliquer, à cause des conditions climatiques et édaphiques très diverses entre les quatre sites. Cependant, nous pouvons attribuer cela aux interactions entre le sodium et d'autres nutriments, dont l'excès de sodium qui inhibe l'absorption du potassium, du calcium et du magnésium. Parfois, c'est l'inverse : le sodium favorise l'absorption de K^+ , de Ca^{++} et de Mg^{++} , comme c'est le cas de certains cultivars de soja ayant la capacité d'accumuler du potassium, du calcium et du magnésium, malgré les conditions salines (BARKER et PILBEAM, 2006).

Dans les autres cas, l'absorption de magnésium était inhibée si le calcium et le potassium étaient tous les deux présents, mais pas si le calcium ou le potassium était présent seul. L'inverse est également vrai, en ce sens que les teneurs en potassium et en calcium des racines ont été réduites avec l'augmentation du taux de magnésium (BLUMWALD *et al.*, 2000). En outre, certaines études montrent que l'augmentation de la disponibilité du potassium, par rapport au magnésium, inhibe l'absorption et l'accumulation de magnésium et vice versa. L'ampleur du degré de cet effet antagoniste varie avec les taux de fertilisation en potassium et en magnésium, ainsi que le rapport entre les deux nutriments (CELIO et ANDRD, 1989).

Concernant la richesse des tiges en K^+ , en Ca^{++} , en Mg^{++} , et en Cl^- , les résultats des travaux de GARTNER (1995) expliquent mieux l'absorption, le dépôt et la mobilisation des ions minéraux par les tissus des tiges du ricin et de l'orge. Ils affirment que le dépôt de K^+ et de Mg^{++} est, nettement, favorisé au début de la croissance et de l'allongement du Ricin, mais l'incorporation de Na^+ est très faible à ces mêmes jeunes stades de développement. Des taux nettement élevés d'incorporation d'anions (malate, chlorure, sulfate, phosphate et nitrate) sont également caractéristiques de la croissance précoce. Ils se produisent à ces moments en quantités liées, étroitement, à l'absorption combinée des principaux cations K^+ , Mg^{++} et Ca^{++} . L'absorption du Na^+ et du Cl^- dans le xylème des entre-nœuds dépasse largement celle du phloème, tandis que l'absorption du Cl^- et du Na^+ dans le phloème est considérablement inférieure à celle du K^+ .

Chez le Harmel la richesse minérale des graines est inférieure à celle des feuilles, des tiges et des fleurs. Ceci semble être dû à la différence de la période de récolte des échantillons. Les graines ont été cueillies à pleine maturité ; ce qui correspond au stade de sénescence de la plante. Cependant, les autres organes ont été récoltés en pleine floraison, période pendant laquelle la plante est en pleine activité métabolique. Quant à la proportion minérale, elle reste dans les normes, comparée à la déclaration de WEBER et *al.*, (2007), qui ont signalé que les graines des halophytes peuvent atteindre une teneur en cendres de 35%.

De plus, la proportion de K^+ dans les graines du Harmel (max 14,39 % au site 1 : équivalent de 143,6 mg/g) semble très élevé par rapport aux grains céréaliers mûrs, allant de 4,5 à 15 mg/g, et de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) de 87 mg/g (BARKER et PILBEAM, 2006).

La salinité est connue pour affecter presque tous les aspects du métabolisme des plantes (DAVID et *al.*, 2001). Dans des conditions salines, la croissance est liée, non seulement aux effets osmotiques et nutritionnels, mais aussi aux perturbations de leurs processus physiologiques et métaboliques normaux. En outre, sous stress salin, le sel induit une diminution ou une augmentation de l'activité enzymatique qui, à son tour, reflète plusieurs processus métaboliques (DAVID et *al.*, 2001). L'un des mécanismes de base, de la survie dans des conditions de stress salin, repose sur la capacité des cellules des halophytes d'avoir une pression osmotique élevée et, en même temps, empêcher les ions en

excès d'inhiber les processus enzymatiques. Si les ions en excès sont stockés dans la vacuole, l'activité métabolique peut être exercée dans le cytoplasme, où la teneur en ions est plus faible (NEDJIMI *et al.*, 2006 ; DAVID *et al.*, 2001). Cet ajustement osmotique, qui est nécessaire à la croissance dans un environnement salin, peut être accompli par l'accumulation de solutés inorganiques et organiques. On pense que les ions inorganiques sont séquestrés dans les vacuoles, tandis que les solutés organiques sont supposés être compartimentés dans le cytoplasme, pour équilibrer le faible potentiel osmotique dans la vacuole (NEDJIMI *et al.*, 2006).

De plus, les données bibliographiques indiquent que, parmi les solutés organiques accumulés dans le cytoplasme, la proline et les sucres solubles. Nos résultats concordent avec ces travaux et montrent une corrélation positive entre la quantité de proline et le rapport Na^+/S dans les feuilles (0,926), alors que le taux des sucres est corrélé positivement avec la richesse des feuilles en Ca^{++} (0,941) et en K^+ (0,947) et négativement avec la teneur en Cl^- (-0,903). De plus, les rapports de Na^+ avec les autres éléments, assure l'existence des antagonismes nutritionnels : le rapport Na^+/Cl^- (0,969), K^+/Na^+ (0,965), $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ (-0,918) et Na^+/K^+ (-0,993). Ces résultats sont certifiés par AZIZ et KHAN (2003), BARKER et PILBEAM (2006), et HAMLYN *et al.*, (1993). Ils ont noté que l'accumulation de proline est largement observée dans les plantes soumises à un stress hydrique ou salin. DAVID *et al.*, (2001) indiquent que les feuilles des plantes soumises à un stress hydrique présentent, souvent, une diminution de l'amidon, qui est généralement suivie par une augmentation de la teneur en sucre. TANG *et al.*, (2013) expliquent que l'accumulation de sucres solubles peut permettre aux plantes d'éviter la mort des tissus et de poursuivre leur croissance et leur développement dans des conditions salines ; ce qui contribue à la tolérance à la salinité (Tang *et al.*, 2013). En plus, HAMLYN *et al.*, (1993) ont indiqué que la présence de proline dans les milieux de culture embryonnaire semblait renforcer la discrimination K^+/Na^+ dans le transport de la racine à la pousse et aide à retenir les sels dans la racine ; les excluant ainsi de la pousse, bien que les sucres réducteurs fournissent une plus grande quantité que K^+ .

Le pourcentage de matière sèche dans notre plante est progressivement lié au taux de calcium au niveau des tiges et des feuilles. Il régresse avec la quantité de Cl^- dans les feuilles, les tiges et les fleurs, ainsi qu'avec le rapport Na^+/K^+ des feuilles. De plus, il existe une relation positive forte entre le taux d'alcaloïdes et le Ca^{++} , le K^+ , le S et parfois

le Mg^{++} (alcaloïdes des feuilles), tandis qu'il existe une relation régressive avec les rapports Na^+/K^+ , Na^+/Ca^{++} et Na^+/Mg^{++} .

Donc, toutes ces relations affirment que les conditions nutritionnelles affectent la croissance générale de la plante ainsi que la production réelle d'alcaloïdes. L'accumulation d'alcaloïdes se produit au cours de la croissance active des tissus juvéniles, et s'ensuit que tout facteur tendant à augmenter sa croissance sera susceptible d'augmenter la formation totale d'alcaloïdes (MANSKE et HOLMES, 1950).

En plus, il est très connu que le calcium, l'un des 20 éléments essentiels, est un macroélément. Il a plusieurs rôles pouvant être divisés en quatre domaines principaux : (a) des effets sur les membranes, (b) des effets sur les enzymes, (c) des effets sur les parois cellulaires et (d) des interactions du calcium avec les phytohormones. Il permet, aussi, à la plante de résister à la sécheresse, à la salinité, aux chocs causés par le froid, aux contraintes mécaniques, à l'ozone et à la lumière bleue, au rayonnement ultraviolet et à d'autres stress (BARKER et PILBEAM, 2006). D'autre part, certaines espèces de plantes peuvent se développer dans des sites où la concentration de chlorure de sodium est au-delà de leur tolérance théorique. Les concentrations élevées de calcium, de potassium ou de sulfate sont trouvées sous forme d'ions supplémentaires. Ces ions modèrent les effets toxiques du sodium et du chlorure ; permettant ainsi aux plantes d'y exister (DAVID et *al.*, 2001).

En outre, MANSKE et HOLMES (1950) ont montré que l'effet de ces éléments sur la production globale d'alcaloïdes est plus complexe. Ils ont suggéré que la variation entre les effets du potassium et du calcium sur la formation d'alcaloïdes peut être résumée par le fait que le potassium est connu pour favoriser la synthèse des protéines dans les plantes et le calcium pour la retarder ; l'inverse de leurs effets sur la synthèse des alcaloïdes.

Nous arrivons donc à la conception d'une formation concurrentielle d'alcaloïdes pendant la période de croissance avec du calcium favorisant la réduction des effets néfastes du sodium et du chlore.

D'une manière générale, l'interprétation des résultats obtenus dans des conditions de salinité est très compliquée à cause de l'interaction de plusieurs facteurs : climat, sol, et espèce végétale. Il est très important d'évoquer la déclaration de DAVID et *al.*, (2001) qui

selon laquelle « les effets précis de la salinité et les sites où la salinité peut affecter les plantes ne sont pas faciles à évaluer. Parce que la combinaison de sel et la concentration de sel diffèrent d'un habitat à l'autre, le terme « salinité » a généralement un sens vague ».

On ajoute que la plupart des cultures sont sensibles au sel ou hypersensibles (glycophytes), contrairement aux halophytes, natifs de la flore des milieux salins. Certains halophytes ont la capacité à s'accommoder à une salinité extrême en raison d'adaptations, anatomiques et morphologiques très spéciales, et des mécanismes d'évitement (YOKOI et *al.*, 2002). L'une des caractéristiques qui distinguent les halophytes des glycophytes est leur capacité à accumuler sélectivement de grandes quantités d'ions dans leurs cellules, sans perturber les processus métaboliques (DAVID et *al.*, 2001).

Par conséquent, nous pouvons dire que notre espèce est considérée halophyte. Ces plantes pouvant tolérer des niveaux faibles ou moyens de stress salin synthétisent des sucres plus solubles et tolèrent le stress salin. Les plantes qui ne parviennent pas à augmenter la biosynthèse du sucre soluble ne pourraient pas tolérer les sels (DAVID et *al.*, 2001).

III.5. CONCLUSION

Selon ces résultats et d'après les conditions de notre étude, nous pouvons conclure avec certitude ce qui suit :

- *Peganum harmala* L. peut être considérée comme une plante halophyte tolérante à la salinité. Sa croissance et sa capacité à produire des alcaloïdes ne sont pas affectées par l'excès de chlore et de sodium existant dans le sol.
- La capacité de cette plante à tolérer des conditions salines est liée, non seulement, à la quantité de sels de Na^+ et/ou de Cl^- , mais, également, à la quantité d'autres sels minéraux présents dans le sol, notamment K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} .
- La capacité de cette plante à produire des alcaloïdes dans un environnement avec des niveaux élevés de chlorure de sodium augmente si le milieu contient un pourcentage élevé de calcium.

CHAPITRE IV

ETUDE DES EFFETS DE SALINITE
SUR LES PROPRIETES
ANTIBIOTIQUES DE *P. harmala*

IV.1. L'OBJECTIF

L'objectif de ce travail est l'étude des effets de la salinité sur le comportement biochimique de *P. harmala* L., en testant les effets antibiotiques des alcaloïdes des graines, des feuilles et des fleurs de *P. harmala* exploités des quatre sites (voir le chapitre III, pages : 63 et 64) sur quelques espèces fongiques et bactériennes, afin de déterminer la possibilité de l'exploitation de cette plante en milieu salin.

IV.2. MATERIEL ET METHODES

IV.2.1. Les matières biologiques utilisées

Pour la réalisation de l'ensemble de nos travaux nous avons utilisé les espèces bactériennes et fongiques ci-après. Les noms scientifiques, les codes et les références des espèces bactériennes et fongiques étudiées sont présentées dans les tableaux 26 et 27.

Tableau 26 : Liste des espèces bactériennes étudiées

Code	Espèce	Référence
BC	<i>Bacillus cereus</i>	ATCC11778
SA	<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923
MC	<i>Micrococcus luteus</i>	ATCC 9314
PA	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853
SM	<i>Salmonella typhi</i>	ATCC 14028

Tableau 27 : Liste des espèces fongiques étudiées

Code	Espèce	Référence
AC	<i>Aspergillus carbonarius</i>	
AF	<i>Aspergillus flavus</i>	CECT 20802
AJ	<i>Aspergillus sp</i>	
AO	<i>Aspergillus ochraceus</i>	NRRL 3174
C10	<i>Candida albicans</i>	ATCC 10231
R	<i>Alternaria sp</i>	
V	<i>Penicillium expansum</i>	CECT 2278

IV.2.2. Préparation de la suspension bactérienne et fongique

A l'aide d'une pipette Pasteur stérile, nous avons prélevé une colonie, bien isolée, d'une colonie bactérienne ou fongique qui ont été cultivées sur le milieu GN. Après 24h, nous avons préparé, dans un tube contenant de l'eau physiologique et tween 80, des suspension bactériennes et fongiques. Nous avons ajusté la concentration de l'inoculum, bactérien et fongique, à l'aide d'un spectromètre à 620 et 580 nm, respectivement, puis nous avons étalé 100µl de chaque suspension sur toute la surface du milieu MH, à l'aide d'un écouvillon, afin d'obtenir une quantité, du microorganisme, la plus homogène possible à la surface du milieu de culture.

IV.2.3. AntibioGramme

Des disques de 0,6 mm de papier Whatman n° 1 ont été imbibés de 10 µl de solution d'extrait brut, à une concentration de 50 mg / ml. En plus, deux dilutions (1/5 et 1/10) de l'extrait brut ont été utilisées, dans des disques humectés de DMSO. En suit à l'aide d'une pince stérile, nous avons déposé les disques des extrait et le témoin sur le milieu MH. Deux répétitions ont été réalisées, pour chaque souche. Après 24h d'incubation, à 37°C, la lecture a été effectuée, en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition de chaque disque, à l'aide d'un pied à colis, (le diamètre de disque compris) (figure 23).

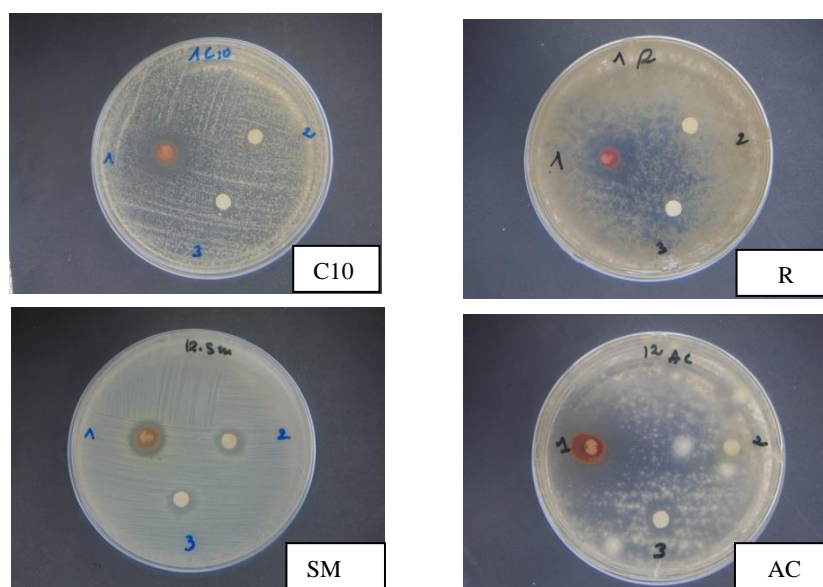


Figure 23 : des échantillons représentant l'activité antibactérienne (gauche) et antifongique (droite) de l'extrait *P. harmala*

IV.3. RESULTATS

IV.3.1. Test antifongique

Les résultats obtenus pour l'étude des effets antifongiques du Harmel montrent des variances significatives pour les trois facteurs chez la totalité des espèces, à l'exception d'*Aspergillus flavus* «AF» pour le facteur2 (organe) (les annexes 06 à 11).

Tableau 28 : La zone d'inhibition (mm) des espèces fongiques sous l'influence des alcaloïdes de *P. harmala*.

		AF	R	AJ	V	AO	AC	C10
1 (site)	1(S)	11,47 ±1,46 A	6,37 ±2,88 B	11,53 ±1,32 A	9,18 ±1,76 B	12,78 ±1,59 A	13,09 ±1,12 A	8,47 ±1,29 B
	2(J)	11,41 ±2,10 A	12,37 ±1,26 A	12,02 ±1,46 A	10,47 ±1,03 A	11,82 ±1,77 A	10,17 ±2,63 B	9,98 ±1,08 A
	3(N)	12,14 ±1,22 A	11,45 ±1,15 A	11,32 ±0,93 A	10,00 ±0,97 AB	13,06 ±1,32 A	11,83 ±1,28 AB	7,86 ±1,44 B
	4(B)	7,77 ±1,73 B	4,35 ±1,24 C	9,30 ±0,85 B	7,39 ±0,40 C	10,04 ±2,41 B	10,70 ±1,44 B	6,72 ±0,29 C
2(organe)	G	10,10 ±2,22	9,80 ±2,26 A	11,43 ±0,98 A	8,90 ±1,45 B	12,64 ±2,24 A	12,97 ±1,62 A	9,26 ±0,77 A
	F	10,79 ±0,68	8,05 ±1,87 B	9,96 ±1,13 B	7,91 ±0,70 C	10,32 ±1,04 B	8,91 ±1,37 B	7,86 ±1,60 B
	FL	11,20 ±1,66	8,04 ±0,90 B	11,73 ±1,34 A	10,97 ±1,14 A	12,81 ±1,90 A	12,47 ±2,06 A	7,66 ±0,72 B
3 (concentration)	C	13,29 ±1,27 A	14,18 ±1,15 A	12,37 ±1,17 A	12,71 ±0,93 A	15,14 ±1,98 A	14,88 ±1,83 A	10,63 ±0,94 A
	1/5	8,86 ±1,82 B	6,53 ±2,52 B	11,04 ±1,36 B	7,10 ±1,20 B	11,28 ±1,56 B	10,21 ±1,79 B	7,90 ±0,65 B
	1/10	9,95 ±1,79 B	5,20 ±1,31 B	9,72 ±0,89 C	7,07 ±1,26 B	9,35 ±1,84 C	9,26 ±1,49 B	6,25 ±1,54 C

Les données fournies dans le tableau 28 indiquent une supériorité (groupe A) du traitement 2(J) chez 6/7 espèces, et le traitement 3(N) chez 4/7 espèces (en plus 2/7 espèces sont classé AB), suivis par 1(S) (4/7 espèces de groupe A et 3/7 espèces de groupe B), et en, dernier niveau, 4(B) (classer ente B et C).

Pour le facteur (organe) nous constatons, à exception des résultats d'*Aspergillus flavus* (AF), un effet important et homogène, au niveau des graines et des fleurs (5/6 et 4/6 espèces respectivement), et un effet moins important, au niveau des feuilles.

De plus, ces résultats montrent la supériorité de l'extrait concentré par rapport aux applications diluées (1/5 et 1/10), qui donnent des effets homogènes dans la plupart des cas.

Les résultats ont également montré qu'*Aspergillus ochraceus* «AO» est le plus sensible aux extraits de *P. harmala*, avec une zone d'inhibition de $15,14 \pm 1,98$ mm. Il est suivi par *Aspergillus carbonarius* «AC» ($14,88 \pm 1,83$ mm), *Alternaria sp* «R» ($14,18 \pm 1,15$ mm) puis *Aspergillus flavus* «AF» ($13,28 \pm 1,27$ mm). Les moins sensibles sont *Aspergillus sp* «AJ» et *Penicillium expansum* «V», avec un diamètre d'inhibition d'environ 12 mm.

IV.3.2. Test de l'activité antibactérienne

Pour ce test, les résultats enregistrés montrent des variances significatives pour les trois facteurs, chez les espèces étudiées, à l'exception de MC pour le facteur 1, et SA et PA pour le facteur 2 (les annexes 12 à 15).

Les données fournies par le tableau 29 indiquent une supériorité (groupe A) du traitement 2(J) chez 3/5 espèces, suivi par le traitement 1(S) (2/5 groupe A et 1/5 groupe Ab), puis le traitement 3(N) (2/5 groupe A), et en dernier niveau le 4(B).

Pour le deuxième facteur (organe), nous constatons une réponse importante au niveau des graines (3/4 espèces sont de groupe A) et un effet moins important et plus ou moins homogène chez les fleurs (3/4 espèces sont de groupe B) et les feuilles (2/4 espèces sont de groupe B et une espèce de groupe C).

Tableau 29 : Les zones d'inhibition (mm) des espèces bactériennes sous l'influence des alcaloïdes de *P. harmala*.

		BC	SM	SA	PA	MC
1 (site)	1(S)	4,07 ±3,08 C	5,03 ±1,30 C	7,98 ±2,22 AB	17,50 ±2,17 A	10,65 ±1,66
	2(J)	8,78 ±2,10 A	10,14 ±0,82 A	8,15 ±2,00 AB	17,72 ±2,02 A	10,92 ±1,07
	3(N)	6,07 ±0,52 B	8,86 ±0,54 B	9,69 ±1,09 A	15,36 ±6,83 A	10,17 ±0,45
	4(B)	6,70 ±1,09 B	5,37 ±2,10 C	6,59 ±1,32 B	12,34 ±4,97 A	9,42 ±1,63
2(organe)	G	7,83 ±1,03 A	8,35 ±1,70 A	8,99 ±1,77	15,29 ±6,05	10,68 ±1,37 B
	F	5,75 ±2,43 B	7,32 ±0,55 AB	7,48 ±1,65	13,82 ±4,41	8,45 ±1,35 C
	FL	5,63 ±2,10 B	6,38 ±1,43 B	7,84 ±1,71	18,08 ±1,77	11,73 ±1,14 A
3 (concentration)	C	8,68 ±1,79 A	11,02 ±1,48 A	11,62 ±0,99 A	23,73 ±5,93 A	14,54 ±2,07 A
	1/5	5,61 ±2,30 B	7,07 ±1,23 B	7,32 ±1,75 B	13,15 ±3,86 B	8,96 ±0,61 B
	1/10	4,92 ±1,70 B	3,96 ±1,22 C	5,37 ±2,17 C	10,31 ±3,03 B	7,36 ±0,55 C

En outre, ces résultats indiquent aussi la supériorité de l'extrait concentré (groupe A) suivi par les applications diluées, dont la dilution 1/5 est de groupe B et la dilution 1/10 de groupe c chez la plupart des cas.

Aussi, Les résultats montrent que *bacillus cereus* « BC » est le très faiblement sensible aux extraits de *P. harmala* avec une zone d'inhibition de $8,67 \pm 1,79$ mm, suivi par *Staphylococcus aureus* «SA » et *Salmonella typhi* «SM » avec une zone d'environ 10,5 à 11,5 mm, considéré moyennement sensible, puis *Micrococcus luteus* «MC » avec une zone de $14,54 \pm 2,07$ mm et le plus sensible est *Pseudomonas aeruginosa* «PA » avec un diamètre d'inhibition égale à $23,22 \pm 5,93$ mm.

IV.4. DISCUSSION

Les résultats obtenus à la fois pour les effets antibactériens et antifongiques montrent clairement la supériorité des extraits de site « J » chez la plupart des espèces suivi par le site « N », puis le site « S » et en dernier niveau le site « B », nous rappelons que les sites « J » et « N » sont les très riche en Na^+ , alors que le site « S » est le moins chargé en Na^+ , tandis que le site « B » en plus de sa richesse en Na^+ s'est le plus chargé en Cl^- . Cela confirme ce que nous avons déjà mentionné dans la partie précédente (les pages 73 à 80) concernant la relation entre la présence des minéraux et la production des alcaloïdes, et nous suggérons également que la qualité des alcaloïdes varie favorablement avec la salinité du milieu, mais cela reste lié au rapport de Na^+ et Cl^- et à leurs relations avec d'autres minéraux.

Cette hypothèse peut être confirmée par WEBER et *al.*, (2007) qui ont souligné que plusieurs études scientifiques affirment que la présence d'huile de bonne qualité chez les plantes de milieu salin en comparaison de milieu non salin, nous choisissons par exemple la plante *Descurainia sophia* récolté dans des sols salins (0,4 % de NaCl) contient des quantités plus élevées (53,7 %) d'acide linoléique dans ses graines que les plantes poussant dans des sols non salins (0,1 % de sel), dans lequel il y avait près de 36% d'acide linoléique.

En outre, une observation attentive des résultats obtenus par les différents organes végétaux montre un effet antibactérien important au niveau des extraits de graines, alors que l'effet antifongique est d'un niveau remarquable au niveau des graines et des fleurs en même temps. Ces résultats semblent très logiques car les métabolites synthétisés par la plante migrent des feuilles vers les fleurs qui forment ensuite les graines qui accumulent ces métabolites, et cette interprétation a été adoptée par les maîtres de la physiologie végétale tels que BARKER et PILBEAM (2006), CELIO et ANDRD (1989) et HENDRIX (2002).

Pour les micro-organismes testés, nos résultats sont variés d'une espèce à l'autre, mais très cohérents avec ceux de KAYA et AKBAS (2023) sur *S. aureus*, *E. coli*, *Y. enterocolitica* (30 mm) *C. albicans* et *B. subtilis*, et qui ont trouvé que l'extrait de graines de *P. harmala* avait un effet important sur les micro-organismes, mais cette activité antibactérienne est quoique moindre que le contrôle positif. L'extrait de *P. harmala*

présente une concentration létale minimale (MLC) à effet inférieur à celle des antibiotiques témoins pour tous les micro-organismes testés. En ce qui concerne la MLC, l'effet de l'extrait de *P. harmala* est perceptible.

Aussi, AMEZIANE et al., (2007) ont révélé une activité antifongique significative de la poudre de *Peganum harmala* sur trois espèces fongiques *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* et *Geotrichum candidum*, ainsi, l'huile essentielle de *P. harmala* provoque une inhibition de la croissance inférieure à 40% sur les trois agents pathogènes fongiques. En plus, ils ont montré que les extraits chloroformiques et méthanoliques de *P. harmala* testés à une concentration de 1% et 2% (p / v), respectivement, ont montré une activité prononcée (100%) contre les trois agents pathogènes.

De plus, HASHEM (2011) a rapporté que les extraits de *Peganum harmala* présentaient généralement des effets inhibiteurs sur la croissance de *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton tonsurans*, *Candida albicans*, *Chrysosporium tropicum*, *Paecilomyces lilacinus*, *Paecilomyces variotii* et *Scopulariopsis brevicaulis*, avec un diamètre de la zone d'inhibition de 25,3 mm chez l'espèce la plus sensible de cet extrait *Paecilomyces lilacinus*. Il a également montré que la valeur de la concentration minimale inhibitrice « CMI » varie de 25 à 150 µg mL⁻¹ en fonction de l'espèce testée.

Également, l'étude de BEHIDJ-BENYOUNES et al., (2013) sur l'activité antimicrobienne des extraits végétaux des feuilles de *Peganum harmala*, menée par la méthode du disque absorbant de 9 mm. A confondu qu'*Escherichia Coli* est *Pseudomonas aeruginosa* sont très résistantes à l'extrait de *P. harmala* (9±0,00). Cependant, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus Subtilis* représentent une forte sensibilité à cet extrait (20 ± 1,15). Alors que les autres bactéries et champignons sont modérément sensibles dont leurs inhibitions se situent entre 10 et 14 mm.

Ces résultats peuvent être expliqués selon BALENTINE et al., (2006) in BEHIDJ-BENYOUNES et al., (2013), qui assurent que les bactéries Gram positifs sont plus sensibles que les bactéries Gram négatifs à l'effet des extraits de *P. harmala*. Ils dévoilent que l'hypersensibilité de ces espèces peut s'expliquer par la probabilité de la sensibilité des bactéries Gram positifs aux changements environnementaux externes, tels que la température, le pH et les extraits naturels. Et surtout l'absence de la membrane externe qui la rend extrêmement sensible.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons affirmer que l'activité antifongique et antibactérienne de *P. harmala* est soutenue par des études scientifiques antérieures telles que rapportées par HASHEM (2011) qui ont déclaré que la majorité des plantes médicinales ont une large gamme de composés organiques bioactifs, tels que les isocyanates, les glucosinolates, les glycosides, les lipides et les phénols aux propriétés fongicides et fongistatiques. En plus, BEHIDJ-BENYOUNES et *al.*, (2013) montrent que la présence des polyphénols (les tanins, les flavonoïdes et de saponosides) et les alcaloïdes dans les extraits de *P. harmala* peut justifier les propriétés antimicrobiennes. En particulier ABBASSI et *al.*, (2005) ont rapporté que l'extrait d'alcaloïdes totaux provoque une inhibition de $31,5 \pm 3,0$ mm, le Harmine avec $22, 2 \pm 2,0$ mm, de $21, 3 \pm 1,9$ mm pour l'Harmaline, le Harmane enregistre $19,9 \pm 1, 1$ mm, et de $17,6 \pm 2,4$ mm pour le Harmalol.

Mais, plus précisément, les analyses phytochimiques réalisées par ABBASSI et *al.*, (2003), révèlent la présence d'un seul alcaloïde indolique comme pic majoritaire au stade végétatif, c'est la vasicine, tandis que pour l'extrait de feuille au stade de fructification le pic, majoritaire représenté correspond à l'Harmaline.

IV.5. CONCLUSION

Cette étude nous permet d'arriver aux conclusions suivantes :

La plante *P. harmala* est considérée comme ayant des propriétés antimicrobiennes pour un large éventail d'espèces pathogènes. Ces effets antimicrobiens sont dus aux alcaloïdes totaux, et cela peut varier d'un agent pathogène à l'autre.

Pseudomonas aeruginosa (23,22 mm) est le plus sensible aux alcaloïdes de *P. harmala*, *Bacillus cereus* (8,67 mm) est l'espèce la moins sensible, tandis que d'autres espèces peuvent être considérées comme modérément sensibles.

La capacité antimicrobienne se trouve dans tous les organes végétaux de *Peganum harmala* L., mais plus élevée au niveau des graines et des fleurs qu'au niveau des feuilles.

Cette aptitude antimicrobienne est également plus élevée dans les plantes issues des zones salines que celles des zones non salines.

CHAPITRE V

ETUDE DES EFFETS DE SALINITE
SUR LES PROPRIETES
ALLELOPATHIQUE DE *P. harmala*

V.1. L'OBJECTIF

L'objectif de ce travail est l'étude des effets de la salinité sur le comportement biochimique de *P. harmala* L., en testant les effets des métabolites secondaires extraits des feuilles du Harmel sur la germination de blé et de quelques espèces adventices. Les échantillons du Harmel sont prélevés de deux sites différents : site 1 et site 2 (voir le chapitre III, pages :63 et 64), afin de déterminer la possibilité de l'exploitation de cette plante en milieu salin.

V.2. MATERIEL ET METHODES

V.2.1. Les matières biologiques utilisées

Pour la réalisation de cette partie nous avons utilisé les graines des quatre espèces adventices de céréales, qui ont été fournies par l'institut technique de grande culture 'ITGC' de Sétif (Figure 24). En utilisant les noms scientifiques adoptés par QUEZEL et SANTA (1963), ces espèces sont :

- Coringia ; *Conringia orientalis* (L.) Andr (E2)
- Folle avoine ; *Avena fatua* L. (E3)
- Ive ; *Ajuga chamaepitys* Schreber (E4)
- Brome ; *Bromus pinnatus* (E1)



Figure 24 : Les différents fruits et graines des espèces adventices étudiées

En plus de ces quatre espèces adventices, nous avons utilisé également les graines de blé de la variété Vitron, garanties par Coopérative des Céréales et des Légumes Secs 'CCLS' de Laghouat.

V.2.2. Les méthodes d'extraction

Notre choix est basé sur la déclaration de HUA et *al.*, (2013) et TURK et TAWAHA (2003) qui indiquent que tous les organes du Harmel (feuilles, tiges et racines) ont une très forte activité inhibitrice sur la germination et la croissance des plantules, et l'annonce de SODAEIZADEH et *al.*, (2010) et SODAEIZADEH et *al.*, (2009) qui montrent que les feuilles sont plus toxiques que les tiges et les racines.

Pour cela, nous avons fait l'extraction de la biomasse végétale (mélange : feuilles (80% de la masse), rameau, fleur) de *P. harmal* de deux régions (site1 et site2) a été effectuée par les trois méthodes ci-après :

V.2.2.1. Extrait aqueux sous pression

La préparation de l'extrait aqueux sous pression consiste à mettre 50g de poudre du Harmel et 500 ml d'eau distillée dans une presse à café, en posant sur une source de chaleur (plaque chauffante), jusqu'à l'obtention de l'extrait. Dès que l'extrait monte complètement à la partie supérieure de presse (figure 25) on laisse refroidir, on le filtre et on conserve à + 4°C.



Figure 25 : Préparation de l'extrait du Harmel sous pression

V.2.2.2. Extrait aqueux par l'eau distillée

L'extrait aqueux est préparé en suivant la méthode décrite par MBIANTCHA et *al.*, (2011), avec quelques modifications. Une quantité de 50 g de poudre de feuilles de Harmal a été mise dans 500 ml d'eau distillée dans une fiole ; couvrir avec du papier d'aluminium et mettre en macération, pendant 2 jours. Par la suite, une filtration a été effectuée, en deux étapes. La première, à l'aide d'une passoire et la deuxième, avec un papier filtre. L'extrait obtenu a été mis dans des flacons stériles et étiquetés. Il est conservé à + 4°C, jusqu'à l'utilisation (figure 25).

V.2.2.3. Extrait méthanolique

Cette méthode, décrite par MBIANTCHA et *al.*, (2011), consiste à déposer 50 g de poudre dans 500 ml de méthanol, pendant 48 heures, à température ambiante et à l'abri de la lumière. Le mélange est par la suite filtré à deux reprises. La première, par une passoire et la deuxième, par un papier filtre et l'extrait obtenu est conservé à + 4°C (figure 26).

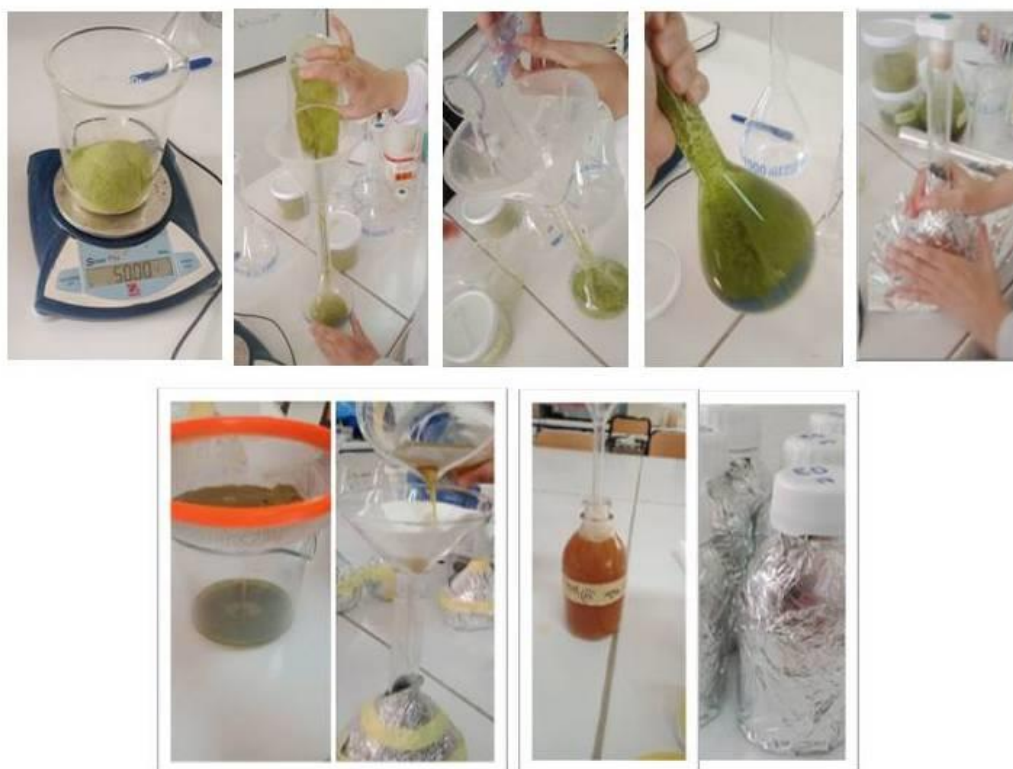


Figure 26 : Préparation d'extraction par l'eau distillée et par le méthanol

V.2.3. Le protocole expérimental

Préalablement, les boîtes de Petri sont remplies de sable fin tamisé et légèrement humidifié avec de l'eau distillée. Des graines des quatre espèces adventices plus du blé sont distribuées sur les boîtes à raison de 15 graines de l'espèce adventice (mauvaise herbe) avec 5 graines du blé.

Il est très important de noter que nous avons utilisé le blé comme un catalyseur des graines de plantes spontanées tel qu'il a été indiqué par DOGAN (2004).

Ensuite, chaque boîte est arrosée une seule fois avec 5ml de l'extrait testé et mise en germination (figure 27) à température ambiante (20 à 25°C), en contrôlant et en arrosant quotidiennement avec l'eau distillée.



Figure 27 : Application d'extraits sur les graines

V.2.4. Le dispositif expérimental

Cette expérience a été fondée sur l'application d'un dispositif expérimental de type randomisation totale, avec trois facteurs étudiés indiqués ci-dessous :

- Le premier facteur représente la région de prélèvement du Harmel. Il est composé de deux niveaux :
 - Le site 1 (S)
 - Le site 2 (J)
- Le deuxième facteur représente le mode d'extraction des principes actifs du Harmel. Il renferme 3 modes :
 - L'extraction eau distillée (ED)
 - L'extraction méthanolique (M)
 - L'extraction sous pression (SP)

- Le troisième facteur représente la date ou le délai prévu des effets des principes actifs sur les cibles ; avec trois dates. Ce facteur est virtuel. Il n'est pas représenté dans le schéma du dispositif.
 - La première date (D1) : 1 jour après le traitement
 - La deuxième date (D2) : 7 jours après le traitement
 - La troisième date (D3) : 15 jours après le traitement

En plus, un témoin négatif (l'eau distillée) a été appliqué (T ed).

Ainsi, huit traitements avec trois répétitions par traitement ont été établis ; ce qui représente 24 unités expérimentales (figure 28).

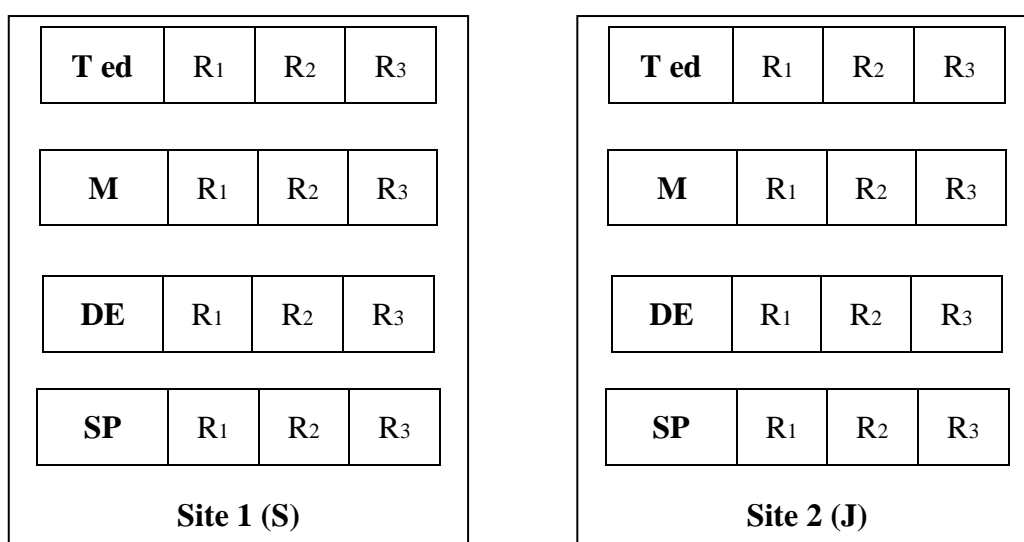


Figure 28 : Schéma du dispositif expérimental des extraits de *P. harmala* (R₁, R₂ et R₃ sont les répétitions)

V.2.5. Paramètre mesuré

Pour étudier l'effet allélopathique de différents extraits de Harmel, nous avons dénombrées quotidiennement les graines germées. Les gaines sont considérées germées dès la sortie de la radicule.

V.3. RESULTATS

Préalablement, nous pouvons juger, grosso modo, que les résultats de notre étude menée sur les extraits de *P. harmala* montrent des effets appréciables sur la germination du blé et des graines d'adventices.

Les figures (29 et 30) et les tableaux (30, 31, 32, 33 et 34) ci-après présentent, en détail, les résultats obtenus, pour chaque espèce végétale testée.

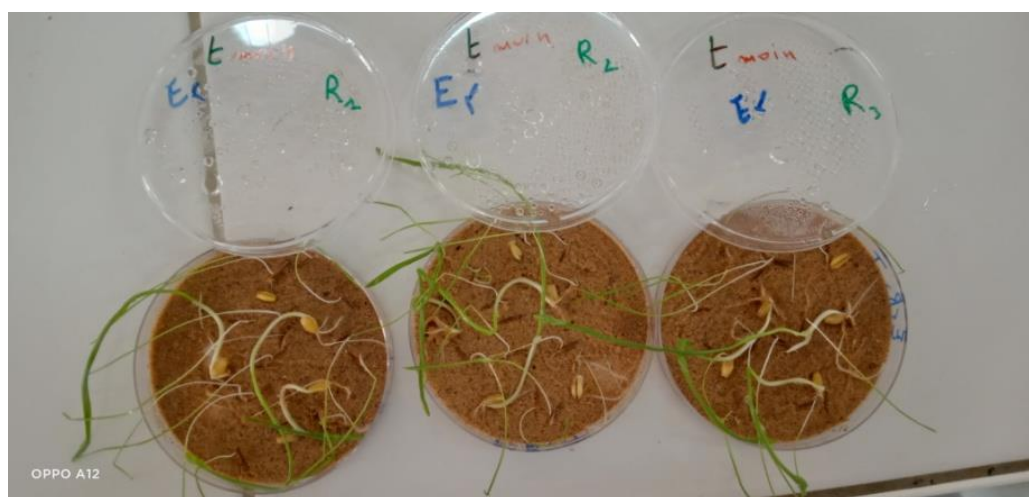


Figure 29 : Le témoin d'une espèce non traitée par les extraits du Harmel

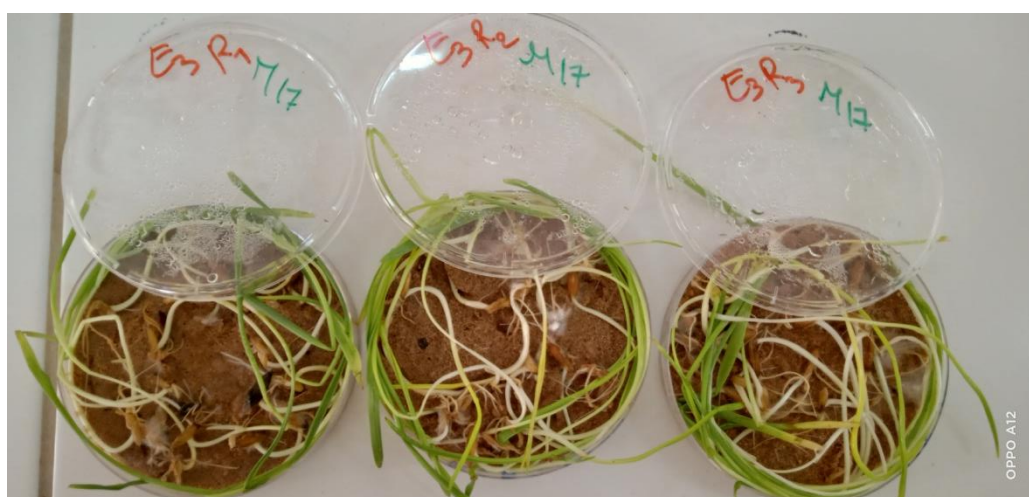


Figure 30 : Une espèce traitée par les trois extraits du Harmel

V.3.1. La folle avoine

Tout d'abord, l'analyse de la variance (Annexe 16) montre une différence non significative pour le facteur 1 (0,414), l'interaction facteur 1 et facteur 2 (0,875), l'interaction facteur 1 et facteur 3 (0,510) et l'interaction 1, 2, 3 (0,963). Cependant, elle est significative pour le facteur 2 (0,049), pour l'interaction facteur 2 et facteur 3 (0,002) et hautement significative pour le facteur 3 (0,001).

Le tableau 30 indique que, pour le facteur 2, le taux de germination le plus élevé (82%) est celui du témoin (T), suivi par celui de l'ED (eau distille) avec une valeur de 70% suivi de celui des traitements M (méthanol) et SP (sous pression), avec 72,22% et 66,67%, respectivement. Ces deux derniers (traitements M et SP) sont classés dans le même groupement homogène.

Tableau 30 : Le pourcentage de germination de l'avoine sous l'effet des facteurs étudiés

Facteur	1		2				3		
	1(S)	2(J)	T	M	ED	SP	D1	D2	D3
Moyenne	71,11	74,44	82,22	72,22	70,00	66,67	18,33	100,00	100,00
Ecart-type	10,33	17,02	20,20	16,33	11,88	0,00	24,55	0,00	0,00
Groupe homogène			A	AB	B	AB	B	A	A

Pour le facteur 3, les résultats montrent un faible taux de germination au bout de 24 heures après le semis (18,33%) et une germination complète (100%) au bout de sept jours.

V.3.2. Le brome

Le tableau d'analyse de la variance (annexe 16) montre une différence hautement significative pour le facteur 2 (le mode d'extraction) (0,003), une différence très hautement significative pour le facteur 3 (les dates) (0,0001), et une différence non significative pour le facteur 1 (région) (0,799) et pour les différentes interactions entre facteurs.

Tableau 31 : Le pourcentage de germination du brome sous l'effet des facteurs étudiés

Facteur	1		2				3		
	1(S)	2(J)	T	M	ED	SP	D1	D2	D3
Moyenne	33,89	36,11	57,78	15,56	46,67	20,00	15,83	27,50	61,67
Ecart-type	30,36	32,07	28,00	30,70	36,94	30,42	22,33	36,83	33,36
Groupe homogène			A	B	AB	B	A	B	B

Les résultats obtenus (Tableau 31) indiquent, clairement, la supériorité du témoin (57,78%), suivi par l'extrait de l'eau distillée (ED) avec 46,66%. L'extrait méthanolique (M) et l'extrait sous pression (SP) ont enregistré des résultats homogènes, avec une valeur de 15,55% et 20,00%, respectivement.

Concernant le facteur 3 (la date), la germination dans la première date est très faible avec une valeur de 15,83%. Par la suite, elle augmente, progressivement, durant la deuxième (27,50%) puis la troisième date (61,66%).

V.3.3. L'ive

Pour cette espèce, l'analyse de la variance (Annexe 16) révèle une déférence très hautement significative pour le facteur 2 et le facteur 3 (0,001) et non significative pour le facteur 1 (0,990) et pour les différentes interactions entre ces facteurs.

Le tableau 32 présente une déférence dans le taux de germination de l'ive. Seul le témoin a enregistré un taux de germination positif, avec une valeur de (20%). Cependant, il n'y a pas eu de germination dans les autres traitements.

Pour le facteur 3, présentant les trois dates de lecture, la germination est nulle dans les deux premières dates, et de 15% dans la dernière date.

Tableau 32 : Le pourcentage de germination de l'ive sous l'effet des facteurs étudiés

Facteur	1		2				3		
Traitement	1(S)	2(J)	T	M	ED	SP	D1	D2	D3
Moyenne	5,00	5,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00
Écart-type	12,65	12,69	25,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,07
Groupe homogène			A	B	B	B	A	B	B

V.3.4. La coringia

Les résultats de l'analyse de la variance (Annexe 16) montrent une déférence significative pour le facteur 2 (0,02), hautement significative pour les interactions entre les trois facteurs 1,2 et 3 (0,005), et non significative pour les autres facteurs.

Les résultats présentés dans le tableau 33 montrent une moyenne de germination e 4,44%, au niveau de témoin, 2,22% pour ED, et nulle pour M et SP.

Tableau 33 : Le pourcentage de germination du coringia sous l'effet des facteurs étudiés

Facteur	1		2				3		
Traitement	1(S)	2(J)	T	M	ED	SP	D1	D2	D3
Moyenne	2,22	1,11	4,44	0,00	2,22	0,00	3,40	3,82	3,40
Ecart-type	4,78	2,76	5,60	0,00	5,60	0,00	0,83	1,67	2,50
Groupe homogène			A	B	AB	B			

V.3.5. Le blé

Pour les graines de blé, l'analyse de la variance (annexe 16) révèle un effet significatif pour le facteur 1 (0,005), très hautement significative pour le facteur 3 (0,001). L'effet est non significatif pour le facteur 2 (0,07) et pour les interactions entre les facteurs.

Tableau 34 : le pourcentage de germination du blé sous l'effet des facteurs étudiés

Facteur	1		2				3		
Traitement	1(S)	2(J)	T	M	ED	SP	D1	D2	D3
Moyenne	66,67	76,11	77,78	66,67	63,33	77,78	53,33	76,67	84,17
Écart-type	19,12	13,80	11,20	20,20	16,33	18,58	13,19	18,65	18,02
Groupe homogène	A	A					B	A	A

Les résultats rapportés dans le tableau 34 indiquent que le facteur 1 (les sites de Laghouat et de Djelfa) présente des pourcentages de germination remarquables et homogènes, avec des valeurs de 66,66% et 76,11%, respectivement. Les résultats obtenus pour les extractions montrent que les deux méthodes 1 et 4 (témoin et méthanol) présentent un même taux élevé de germination (77,77 %). Les autres méthodes présentent, aussi, de hauts taux de germinations des graines de blé : 63,33%, pour la deuxième méthode (Eau distillée) et 66,66%, pour la troisième méthode (Sous pression). Pour les trois dates de lecture, on a enregistré une augmentation progressive de la germination des graines de blé, depuis D1 jusqu'à D3, avec une valeur de 53,33%, 76,66% puis 84,16%, respectivement.

V.4.DISCUSSION

Les résultats obtenus dans ce travail nous permettent d'affirmer, de manière générale, que l'absence de l'influence de l'effet "origine géographique" de *P. harmala* sur le pourcentage de germination est due à la similarité des composants chimiques. Cet effet allélopathique similaire dans les deux régions est confirmé par les travaux de certains auteurs (BENARAB, 2021 ; BENMEDDOUR, 2010 ; FARAJOLLAHI et *al.*, 2013 ; SODAEIZADEH et *al.*, 2009), ayant indiqué que l'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration des extraits. Cela confirme, également, que le Harmel est une plante halophyte bien adaptée aux sols salins.

En plus, les résultats obtenus montrent que la germination des graines de blé n'est pas affectée par les différents extraits ; ce qui concorde avec les résultats de ASLAM et *al.*, (2016) et BENMEDDOUR (2010) ayant montré que l'extrait aqueux de *P. harmala*

n'affecte pas la germination des graines de blé dur, mais influe sur les paramètres de croissance des plantules. Cependant, d'autres études ont montré que la germination des graines de blé a été de 22 %, avec l'extrait total des feuilles de *Parthenium hysterophorus* (GELLA et al., (2013). Elle est de 16,66% pour l'extrait de l'*Eucalyptus globulus* et 13,33% pour l'*Eucalyptus camaldulensis* contre 83,66% en présence d'un pesticide chimique (MEKSEM (2018). Cependant, les extraits de *Solidago canadensis* (SUN et al., 2006) et *Verbesina encelioides* (BEN-GHABRIT et al., 2017) à certaines concentrations ont présenté un effet inhibiteur total sur la germination du blé. Mais le plus aberrant est découvert dans l'étude de GHAFARBI et al., (2012) sur l'effet allélopathique de différentes concentrations d'extrait de graines de blé, qui a montré que 20% d'extrait a un effet inhibiteur sur tous les indices de semences et de semis de mauvaises herbes et compris le Harmel.

Également, les résultats obtenus nous permettent de dévoiler, très nettement, l'existence des effets allélopathiques des extraits de *P. harmala*, sur la germination de la plupart des espèces étudiées. Ces résultats concordent avec les travaux de BENARAB (2021), BENMEDDOUR (2010), FARAJOLLAHI et al., (2013), SODAEIZADEH et al., (2009) et TAFTI et al., (2011) ayant trouvé que l'extrait du Harmel possède un effet inhibiteur de la germination de la plupart des adventices, surtout à des concentrations élevées (plus de 5%).

En outre, la réduction et/ou la stimulation de la germination et de la croissance des espèces végétales cibles en présence d'extraits aqueux et éthanoliques, à différentes concentrations, ont indiqué que les réponses étaient spécifiques à l'espèce et dépendaient de la concentration (SUN et al. 2006). Cet effet allélopathique est plus efficace si la concentration est au-delà de 5% (ASLAM et al., 2016 ; BENMEDDOUR, 2010 et TURK et TAWAHA, 2003). En plus, il a été prouvé que certains extraits de mauvaises herbes testés pourraient être utilisés comme inhibiteur tandis que d'autres pourraient être utilisés comme stimulateur pour les cultures (KADIOGLU et al., 2005). Nous citons comme exemple, la germination des graines et la croissance des plantules de tomates, de concombres, de cressons et de luzernes ont été fortement inhibés par l'extrait de feuilles de noix (*Juglans regia* L.). Cependant, la germination des graines de blé, d'orge, de maïs, de pastèque, de radis et de haricot n'a pas été affectée, mais la croissance des plantules a été légèrement inhibée (ALISKAN et TERZI, 2001).

Les espèces adventices étudiées réagissent différemment, selon l'espèce. Nous avons noté que des espèces dicotylédonaire, l'ive et la coringai, n'ont présenté aucune germination, sous l'effet de l'extrait des feuilles du Harmel. Cependant, la folle avoine et le brome, des espèces monocotylédonaire, ont présenté 66,67% et 15,56% de germination, respectivement. Ceci concorde avec l'étude de HUA et *al.*, (2013) ayant déclaré que les espèces dicotylédonaire sont plus sensibles aux effets allélopathiques des extraits de plantes que les espèces monocotylédonaire.

KRUSE *et al.* (2000) in BENMEDDOUR, (2010) ont montré que cette différence est obtenue lorsque des plantes sensibles sont exposées à des substances allélochimiques. Ainsi, la germination de certaines graines s'arrête dans le stade gonflement. Dans d'autres cas, la germination s'arrête au début de l'apparition de la radicule. Lorsque la germination des graines n'est pas inhibée, d'autres effets se manifestent sur le développement des plantules (inhibition ou stimulation). Dans le cas d'une inhibition, les substances allélochimiques influent sur la radicule (coléorrhizes des poacées), et/ou sur la tigelle (coléoptile des poacées). Dans certains cas, le développement de la radicule s'arrête et, dans d'autres cas, le développement de la radicule est retardé.

De plus, RICE (1984) indique que les effets de l'allélopathie sur la germination et la croissance des plantes peuvent se produire par divers mécanismes, notamment une réduction de l'activité mitotique dans les racines et les hypocotyles, une activité hormonale supprimée, une réduction du taux d'absorption ionique, une photosynthèse et une respiration inhibées, un blocage de la formation de protéines, une diminution de la perméabilité des membranes cellulaires et/ou une inhibition de l'action enzymatique.

Pour *Avena fatua* L., nos résultats corroborent avec ceux de SODAEIZADEH et *al.*, (2009) qui ont trouvé que les extraits aqueux, à une concentration de 16 % de la matière fraîche de *P. harmala*, ont réduit considérablement la germination : 72, 65 et 64 % de germination lorsque les graines d'*A. fatua* ont été traitées avec des extraits aqueux de feuilles, de tiges et de racines, respectivement. Cependant, TAFTI et *al.*, (2011) ont noté que l'extrait hydroalcoolique de poudre de fruits secs du Harmel, à une concentration de 1%, réduit la germination à 40% par rapport au témoin ; un extrait de 5% réduit le taux de germination à 3%. De plus, SODAEIZADEH et *al.*, (2010) ont constaté que les résidus de *P. harmala* réduisent la croissance des plantules d'*A. fatua* L., en affectant la longueur et le poids sec des plantules.

Par ailleurs, la comparaison avec d'autres travaux montre que l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* a un effet inhibiteur élevé sur la germination des graines d'*Avena fatua*. L'inhibition dépasse 60% à la concentration 0,2 µl. Cependant, l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* stimule cette germination (BENARAB, 2021). Ainsi, La moutarde noire (*Brassica nigra* L.) contient des substances solubles dans l'eau qui inhibent la germination et la croissance des plantules d'*A. fatua* L. (TURK et TAWAHA, 2003).

Pour le brome (*Bromus pinnatus*), nos pourcentages de germination sont moins importants, comparés à ceux obtenus dans une étude menée par FARAJOLLAHI et al., (2013). En effet, ils ont montré que la poudre de différents organes du Harmel (racine, tige, feuille et fruit, plus un mélange), à différentes concentrations (1, 3, 6, 9 et 12%) ont un effet allélopathique sur la germination des graines de *Bromus tectorum*. Cet effet est plus important chez les fruits (26% de germination), puis les racine (40%) et plus faible pour les feuilles (63%) et les tiges (73%). En plus, l'effet inhibiteur de l'huile d'*E. globulus*, sur la germination des graines de *B. madritensis* est élevé et même totale aux concentrations 0,6 et 0,8 µl. L'inhibition la plus élevée pour l'huile d'*A. herba-alba* est de 81%, à la concentration 0,6 µl (BENARAB, 2021).

Généralement, le pouvoir allélopathique de *P. harmala* est du au grand nombre de composés inhibiteurs ou toxiques, qui inhibent ou ralentissent le processus de germination des graines et influence la croissance de différentes espèces (KARTAL et al., 2003, et KADIOGLUE et al., 2005 in ASLAM et al., 2016). Récemment, l'analyse HPLC a indiqué que parmi les alcaloïdes totaux, la quantité d'harmine et d'Harmaline varie, considérablement, selon les différentes parties de la plante de *P. harmala*. Les graines et les racines contiennent les niveaux les plus élevés d'alcaloïdes, avec de faibles niveaux dans les tiges et les feuilles. L'Harmaline a montré l'effet inhibiteur le plus puissant sur la croissance des plantules, tandis que les alcaloïdes totaux ont montré une activité relativement modérée ; l'harmine ayant eu un faible effet inhibiteur. D'autre part, la phytotoxicité de l'harmine ne diffère pas entre les dicotylédones et les monocotylédones. En comparaison avec l'herbicide glyphosate, les alcaloïdes totaux et l'harmine ont exercé une toxicité plus faible sur des plantes testées. Cependant, l'Harmaline a montré un effet inhibiteur de croissance plus fort sur les plantes dicotylédones que sur les plantes monocotylédones. Toutefois, la teneur totale des alcaloïdes extraits des tiges et des feuilles de *P. harmala* était très faible ; ce qui correspond à des activités inhibitrices faibles. Cet

effet pourrait être, également, attribué à d'autres substances chimiques tels que les acides phénoliques (HUA et *al.*, 2013).

SODAEIZADEH et *al.*, (2009) ont montré qu'une quantité importante d'acides phénoliques, solubles dans l'eau, a été trouvée dans les extraits de plantes de *P. harmala*. La teneur en acides phénoliques totaux était plus élevée dans les extraits des feuilles que dans les extraits de tige ou de racine. Sept acides phénoliques, dont l'acide gallique, l'acide vanillique, l'acide 4-hydroxybenzoïque, l'acide 3,4-dihydroxybenzoïque, l'acide caféique, l'acide syringique et l'acide férulique ont été trouvés dans des extraits de feuilles de *P. harmala*. Ainsi, le plus grand nombre d'inhibiteurs de croissance détectés dans les feuilles pourrait expliquer l'activité inhibitrice plus forte. Dans l'ensemble, nos résultats suggèrent que *P. harmala* pourrait être utilisés comme herbicide naturel pour le contrôle des plantes adventices et, par conséquent, réduire la dépendance aux herbicides synthétiques.

V.5. CONCLUSION

Les portées relatées dans cette partie, et conformément aux conditions expérimentales menées, nous permettent de considérer que :

L'extrait de feuille du Harmel est un bon bio-herbicide, sélectif, très efficace contre les espèces adventices cibles, en particulier les dicotylédones. Son utilisation contre *Avena fatua* L. et *Bromus pinnatus* peut être considérée d'un niveau acceptable, en plus de son effet négatif limité contre la culture du blé.

Nous constatons, également, que l'effet des sels de sodium et de chlore n'affectent pas les composés chimiques de la plante du Harmel.

Le choix des méthodes d'extraction est un élément important pour obtenir une meilleure efficacité dans l'utilisation du Harmel.

La méthode d'extraction sous pression est une méthode originale, moins coûteuse, avec une efficacité équivalente et parfois supérieure à la méthode d'extraction au méthanol.

CHAPITRE VI
ETUDE DES EFFETS DE
SALINITE SUR LA
GERMINATION DE *P. harmala*

VI.1. L'OBJECTIF

Le but de ce test est d'achever une étude comparative des effets de différentes concentrations de la salinité (NaCl) sur la germination de graines de *P. harmala* issue de deux origines géographiques distinctes : le site 1, un sol non salin (« ONS » ; Laghouat) et le site 2, sol salin (« OS » ; Djelfa).

VI.2. MATERIEL ET METHODES

VI.2.1. Protocole expérimental

L'expérimentation a été réalisée en deux parties. La première, au laboratoire, dans des boîtes Petri et la deuxième, par le semis direct en sol (dans des pots mis en plein air).

Dans la réalisation de ces expériences, nous avons utilisé l'eau du robinet, dont la composition minérale est décrite dans le tableau 35.

Tableau 35 : Composition en éléments minéraux de l'eau de l'irrigation utilisée

Élément minéral	K ⁺	Ca ⁺²	Na ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Total
Teneurs en meq/l	0,35	11,45	6,68	11,55	0,01	20,87	5,60	2,93	0	59,39

Les concentrations en NaCl retenues suivent une croissance arithmétique dont l'incrément est de 1g/l. Les concentrations utilisées sont les suivantes : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 g/l. Ces concentrations conviennent relativement aux traitements suivants : T₀ (témoin), T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈, T₉ et T₁₀. Ces solutions sont préparées avec de l'eau de robinet, en ajoutant une quantité précise de NaCl (tableau 36).

Tableau 36 : Les paramètres physiques et chimiques de différentes solutions

Traitements	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
NaCl (g/l)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CE (mS/cm)	1,20	2,18	3,44	4,69	5,94	7,19	8,44	9,69	10,94	12,18	13,43
pH	7,57	7,87	7,88	7,90	7,92	7,94	7,95	7,97	7,98	7,99	7,99

Premier essai

Le matériel végétal utilisé dans cet essai sont des graines du Harmel (*P. harmala* L.), emportées de deux sites différents : un jardin oasien de Laghouat, site non salin (CE = 0,87mS/cm), et Hadjer El Melh, wilaya de Djelfa, site de sol salin (CE = 7,30 mS/cm).

Cette expérience a été menée dans un dispositif de type randomisation totale, avec deux facteurs étudiés. Le premier facteur correspond à l'origine géographique des graines, et qui se compose de deux niveaux (les graines d'origine non saline, provenant du site1 « ONS » et les graines d'origine saline, provenant du site2 « OS »). Le second facteur concerne les doses de salinité (NaCl), constituées de six niveaux, de 0 g/l à 5 g/l, avec un taux de graduation de 1 g ; soit 12 traitements. Chaque traitement est réalisé en quatre répétitions ; soit 48 unités expérimentales (Figure 31).

L'expérimentation a été menée en laboratoire, par le semis dans des boîtes de Petri, en raison de 25 gaines chacune, incubées à l'étuve (25°C).



Figure 31 : Dispositif expérimental du premier essai

Deuxième essai

L'expérience a été conduite en plein air, par le semis direct dans des pots de 5 litres, rempli d'un mélange de sol et de terreau (2V/V). Le dispositif expérimental est en randomisation totale, à un seul facteur. Il comprend 11 traitements (T₀, le témoin, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈, T₉ et T₁₀), avec 4 répétitions ; soit 44 unités expérimentales, contenant chacune 100 graines (Figure 32 et 33). Les graines utilisées dans cet essai ont été prélevées de zones non salines, "site 1" à Laghouat (CE = 0,87mS/cm).

Nous notons que l'expérimentation a duré 40 jours, sous des températures variantes entre 16 et 23°C.



Figure 32 : Dispositif expérimental du deuxième essai

Répétition 1	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
Répétition 2	T ₉	T ₁₀	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈
Répétition 3	T ₁₀	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
Répétition 4	T ₁₀	T ₉	T ₈	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇

Figure 33 : Schéma du dispositif expérimental du deuxième essai

VI.2.2. Le paramètre mesuré

Les graines germées sont dénombrées quotidiennement. Pour le premier essai, les gaines germées sont comptées en fonction de la sortie de la radicule. Pour le deuxième essai les graines sont considérées germées dès l'apparition des feuilles cotylédonaire au-dessus du sol.

La faculté (Capacité) germinative, correspondant au pourcentage de graines germées, a été mesurée par la formule ci-après (LAFON et *al.*, 1996).

$$FG \% = (\text{nombre des graines germées} / \text{nombre total mis en germination}) \times 100$$

VI.3. RESULTATS

VI.3.1. L'effet de la source de la semence sur la faculté germinative en milieu salin

Les résultats de l'étude statistique révèlent un effet très hautement significatif (Prob = 0,0001) de la source des graines, sur la germination. Les trouvailles dressées dans le tableau 37, révèlent que la semence provenant de la région ne présentant pas une forte salinité « ONS » montrent un pouvoir germinatif plus important (70,00%) et que celles collectées de plantes de région présentant une salinité élevée « OS » est de 46,50%. De ce fait, ils sont classés dans deux groupements homogènes distincts (a et b).

Tableau 37 : L'effet de la source de la semence sur la faculté de germination

	« ONS »	« OS »
Germination (%)	70,00% ± 13,41	46,50% ± 12,76
Groupements	Groupe a	Groupe b

VI.3.2. L'effet du NaCl sur le temps de la germination

L'étude statistique des données collectées pendant les test expérimentaux (durée de 40 jours) ont mis en évidence une différence très hautement significative pour les différents traitements, pour la durée nécessaire à la germination et pour l'interaction entre ces facteurs (Probabilité égale à 0,0001).

L'analyse des données illustrées dans le tableau numéro 38 consent de relever que le temps le plus court nécessaire à la germination est de quinze (15) jours, pour « T0 » (la traitement témoin). Pour les traitements T1, T2, T3 et T4 les graines ont germé à partir du vingtième jour ; au 22^{ème} jour, pour le traitement T5, 24^{ème} jour pour le traitement T6 et 35^{ème} jour pour T7 et T8. Par contre, aucune germination n'a été observée pour les traitements T9 et T10.

Tableau 38 : Les temps et les pourcentages de germination en semis direct.

Traitement Nombre de jours	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
15 jours	3,00 ±0,82	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,0	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00
20 jours	5,75 ±1,7	4,25 ±2,22	2,5 ±1,29	1,75 ±0,96	1,00 ±0,82	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00
22 jours	8,5 ±1,29	7,00 ±1,83	3,75 ±0,96	2,50 ±1,29	1,50 ±1,00	0,25 ±0,50	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00
24 jours	10,00 ±1,83	11,25 ±1,26	7,25 ±1,26	4,50 ±1,29	2,75 ±1,70	0,75 ±0,96	0,25 ±0,50	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00
35 jours	47,25 ±3,40	27,5 ±4,43	19,5 ±3,70	15,75 ±2,63	8,50 ±1,92	2,25 ±2,87	1,50 ±1,29	0,75 ±0,50	0,50 ±1,0	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00

De ce fait ces trouvaillles illustrent la relation entre la teneur en NaCl (chlorure de sodium) et le temps indispensable à la germination.

VI.3.3. Le pourcentage de germination

L'étude statistique (test Anova) révèle une différence très hautement significative (Probabilité égale à 0,0001) entre les concentrations de salinité étudiées. Le témoin (T0) correspond à la capacité de germination la plus importante (56 % \pm 8,04). Les traitements T1, T2, T3 et T4 présentent des valeurs, comparativement, moins importantes et baissent, graduellement. Pour les traitements T5 à T10, le pouvoir germinatif ne dépasse guère les 5% (\leq à 5%) (Figure 34).

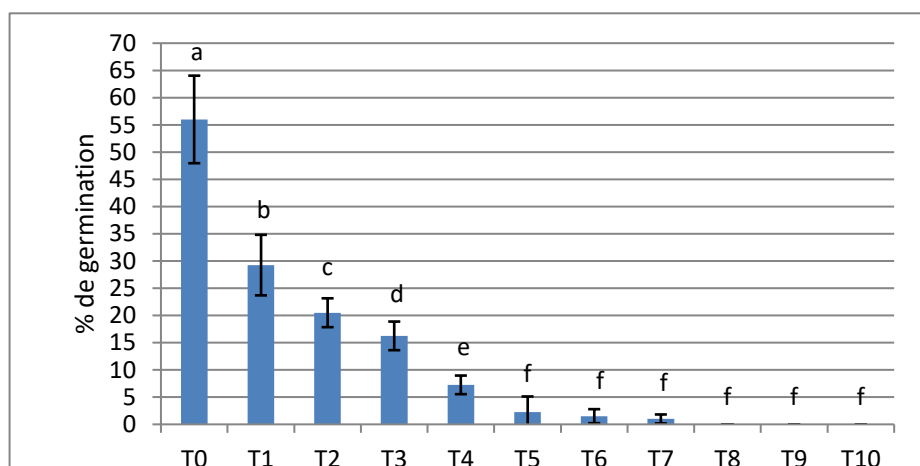


Figure 34 : Le pourcentage de germination selon la dose en NaCl en semis direct

Dans le l'essai du pouvoir germinatif, conduit en laboratoire, nous avons noté des valeurs de germination plus élevées, pour le témoin et pour le traitement et T1 (respectivement, 78,50 et 75,50%), puis les valeurs des traitements T2, T3 et T4, comme indiqué dans la figure 35. Le traitement T5 a montré le pouvoir germinatif le plus faible (32,00%).

Ces résultats permettent de noter un effet, très poussé, de l'augmentation du degré de salinité sur le pouvoir germinatif des graines de *Peganum harmala*. La diminution du taux de germination pourrait être en relation inversée avec la hausse de la salinité.

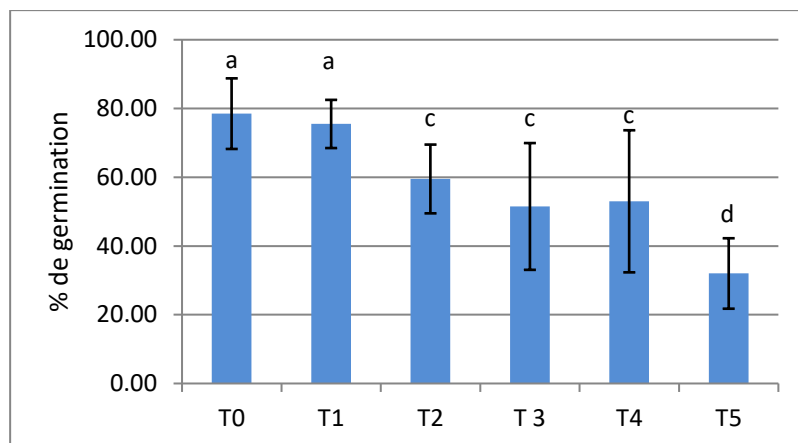


Figure 35 : L'effet du taux en NaCl sur le pouvoir germinatif *in vitro*

VI.4. DISCUSSION

À propos de l'effet qu'exerce l'origine géographique de la graine de *Peganum harmala* L, sur l'aptitude germinative, et en se basant sur nos résultats, nous pouvons annoncer, d'une part, que les graines d'origine présentant peu de NaCl « ONS » présentent le pouvoir germinatif le plus important (70 %), comparée à celle de la région chargée en sel « OS » (46,50 %). Ces données corroborent avec celles de l'étude de NISA-MEHRUN et *al.*, (2007) qui annoncent que la dormance des graines est levée selon l'origine géographique de collecte de la plante, des conditions temporelles et spatiales de la production des graines ainsi que des conditions environnementales ayant affecté la plante durant son cycle de vie. ZIA et KHAN (2002) annoncent, dans une investigation, que la germination est très ponctuelle, à cause du mode subtropical de saisonnalité de la région. De plus, ceci pourrait être argumenté par une grande biodiversité, paramètre souvent décrit chez certaines plantes halophytes (LI et *al.*, 2008a). En effet, une biodiversité conséquente pourrait permettre aux plantes halophytes de s'acclimater à certains milieux délicats et instables. Ça permet, aussi, d'augmenter les possibilités de survie de la semence dans des milieux à fortes salinités (NISAR et *al.*, 2019).

Concernant l'analyse de la cinétique du pouvoir germinatif, nous avons remarqué que les fortes salinités retardent la germination. Ces trouvailles sont comparables à celles d'investigations qui affirment que les graines des plantes halophytes et des plantes glycophytes réagissent de la même façon au stress dû à la salinité ; elles présentent un retard certain dans le commencement de la germination (BOUDA et HADDIOUI, 2011 ; REDA TAZI et *al.*, 2001).

Dans ce même contexte, selon ZIA et KHAN (2002), la variation dans le temps, de la salinité, des températures du degré d'hygrométrie décident, en grande partie, du moment du démarrage de la germination.

Ces résultats sont en corrélation avec à ceux des études de ANNOU et OULD EL-HADJ KHELI (2012) et BABA SIDI-KACI (2020). Ils pensent que ce délai constitue l'intervalle temporel indispensable à la graine pour la mise en place des processus qui vont contrôler sa pression osmotique interne. De plus, ce délai, expliquerait une détérioration des enzymes et des hormones de la graine (BOTIA *et al.*, 1998).

Aussi, GILL *et al.*, (2003) annoncent, pour diverses teneurs de sel, que le stress dû à la salinité agit directement sur la vitesse de germination. Il est possible que ce fait soit dû à une difficulté d'hydratation des graines, effet résultant d'un potentiel osmotique élevé, qui provoque une certaine inhibition des mécanismes responsables de l'émergence de la racine hors des téguments ; ce qui engendre des durées plus importantes pour voir l'initiation de la germination.

Les résultats du pourcentage de germination concordent avec ceux annoncés dans plusieurs études (BABA SIDI-KACI, 2020 ; BOUDA et HADDIOUI, 2011 ; ZIDANE-DJERROUDI, 2017). Ils ont trouvé que les graines de la majorité des plantes halophytes atteignent leur taux de germination maximums dans l'eau distillée.

Cependant, la baisse du pouvoir germinatif à des niveaux très faibles, accompagnant l'accroissement de la teneur en NaCl (au-delà de 4 g/l, pour le Harmel), a été constaté dans plusieurs études consacrées à la germination des graines (ABDUL *et al.*, 2006 ; BOUDA et HADDIOUI, 2011 ; HAMMOUDA et BAKR, 1969 ; KHAN et GUL, 2008 ; ZAHEER et KHAN, 2010 ; ZIA et KHAN 2002 ; ZIDANE-DJERROUDI, 2017). Ils affirment que la germination est meilleure lorsque le NaCl est faible ou bien absent.

BEN NACEUR *et al.*, (2001) ont constaté un changement de comportement morpho-physiologique selon la teneur de la salinité. GRENNAN (2006) et BAJJI *et al.*, (2002) ont fait le même constat pour les comportements, biochimique et minéral, respectivement.

Ainsi, nous avons vu que le NaCl affecte le pouvoir germinatif et trouble les systèmes enzymatiques impliqués dans des fonctions physiologiques variées, de la graine en germination, comme la baisse de l'activité du polyphénol oxydase et de l'amylase

(KHEMIRI et *al.*, 2004). Nous pouvons noter, de ce fait, que Salinité peut affecter l'activité enzymatique ainsi que le transport des produits de l'hydrolyse des réserves vers l'embryon (GROOME et *al.*, 1991).

Dans les traitements T8, T9 et T10, nous pouvons argumenter l'incapacité des graines à germer par l'action toxique inhibitrice du NaCl. Dans une étude, menée par BLISS et *al.*, (1986), dans des conditions expérimentales comparables, les auteurs pensent que cette action toxique peut altérer des processus du métabolisme et peut conduire à la mort de l'embryon.

D'après une étude menée par KHAN et GUL (2008), la germination des graines chez les plantes halophytes pourrait être inhibée lorsque la salinité est élevée à cause du fait que : i) une inhibition totale de la germination lorsque la salinité dépasse le seuil de tolérance de la plante considérée, ii) un ajournement du processus de la germination lorsque la salinité cause un stress aux graines germination ait lieu, iii) de la baisse de la viabilité de la semence, à cause du taux de salinité et de la température élevés, iv) de la rupture de l'équilibre de la régulation de la croissance dans l'embryon pour éviter le déclenchement du processus de germination. Il y a une énorme variabilité dans la réaction des plantes halophytes à une hausse des aléas dus à la salinité, l'humidité, la lumière et la température et leurs interférences.

Ces actions peuvent être argumentés par une diffusion diminuée de la diffusion de l'eau, indispensable au démarrage de la germination dans la graine, lors que la salinité est élevée (GOMES et *al.*, 1983 ; PUJOL et *al.*, 2000). Cette diminution de l'absorption de l'eau serait le résultat d'une hausse de la pression osmotique du milieu, due à la présence de NaCl qui limite la disponibilité d'eau pour la graine ; l'eau allant du milieu à faible concentration vers à concentration plus élevée (DEBEZ et *al.*, 2001).

Séparément, la baisse du pouvoir germinatif résulte d'une hausse de la pression osmotique externe qui affecte négativement l'absorption de l'eau ou bien de l'accumulation des ions Na⁺ et Cl⁻ dans l'embryon (ANNOU et OULD EL-HADJ KHELI, 2012).

Cette agglomération de sels dans les cellules engendre perturbations de la synthèse des enzymes intervenant dans la physiologie des graines durant la germination. Ces

dérèglements bloquent la levée de la dormance des embryons et provoquent une baisse du pouvoir germinatif (REJILI *et al.*, 2006).

D'une façon plus précise, le fort taux des sels du sol en Na^+ et le potentiel, membranaire des cellules racinaires des plantes, réduit favorise le transport passif des ions Na^+ du sol vers la racine, par les Canaux Cationiques Non Sélectifs (CCNS). L'efflux des ions Na^+ est actif. Il nécessite des antiports spécifiques Na/H^+ , tel que le type SOS1 (SHI *et al.*, 2000). Au niveau de la cellule, le sel agit sur le développement, en provoquant deux types de stress : (1) un stress osmotique dû à la dissolution des ions Na^+ dans le sol, engendrant une baisse de l'eau libre pour la plante. (2) un stress hydrique provoqué par un déficit hydrique dû à manque d'eau disponible pour la racine ; résultant du stress osmotique. Ce déficit se répercute directement sur la partie aérienne ; ce qui induit une diminution de la turgescence au niveau des cellules (MUNNS et TESTER 2008).

Dans les plantes exprimant une sensibles au NaCl , le sel se dépose au niveau des racines puis migre des feuilles. Ces plantes sont communément appelées « excluser ». À l'opposé, les plantes résistantes au NaCl , sont appelées « incluser » ; elles contiennent, généralement, plus de Na^+ au niveau des feuilles qu'au niveau des racines, lorsqu'elles sont mises en culture en présence de sel (HAOUALA *et al.*, 2007).

En outre, une plante mise en culture dans un sol riche en sel, pour croître et se multiplier convenablement, elle résiste pour éviter la pénétration du NaCl dans ses tissus. Il est rejeté ou accumulé au niveau des organes, des tissus, des cellules et des compartiments intercellulaires. Les ions chlore (Cl^-) et sodium (Na^+) transportés par la sève xylémique, au niveau des poils absorbants de la racine, sont acheminés jusqu'aux parties aériennes de la plante. Ils sont, ainsi, i) emmagasinés, dans la plante de type « incluser », ayant des feuilles, des tiges et des racines riches en Na^+ . Cette tolérance, au NaCl , est obtenue par le stockage des ions toxiques, en particulier l'ion sodium dans la vacuole ; ii) ou bien très faiblement stockés au niveau des feuilles (plantes de type « excluser »). Ces quantités diminuent selon ; ces ions sont transportés dans la sève élaborée, jusqu'aux racines (LEVIGNERON *et al.*, 1995).

En plus, il a été annoncé par PRADO *et al.*, (2000) que la baisse du pouvoir germinatif des graines exposées à un stress dû à la salinité, comme c'est le cas dans notre expérimentation, résulterait du développement d'un processus de dormance osmotique

sous les conditions d'un stress salin ; ce qui pourrait constituer une forme d'adaptation aux conditions environnementales salins. La réaction de la plante à ces changements du taux de salinité du milieu provoque, ainsi, la disparition ou le développement d'une résistance. Parmi ces réponses, l'ajustement osmotique qui assure un rôle essentiel dans la tolérance ou la résistance du végétal à la salinité (MUNNS, 2002).

Globalement, ces résultats peuvent être argumentés par une perturbation du bilan hydrique (DEBEZ et al., 2004). Il a été montré dans certaines études, chez des plantes halophytes, qu'il n'avait pas levée de la dormance si le potentiel hydrique reste faible (DAVID et al., 2001). En outre, lorsque la pression osmotique, de la solution du sol, est élevée, elle freine l'imbibition de la graine et ralentie, donc, l'absorption de l'eau indispensable à m'amorçage des processus métaboliques dirigeant la germination (HAJLAOUI et al., 2007), comme la synthèse des enzymes (CALVIN et al., 2001) et le métabolisme des hormones (WILKINSON et DAVIES, 2002). Cette action toxique peut conduire à la perturbation des processus métaboliques impliqués dans la germination et, dans la situation extrême, à la destruction de l'embryon par excès d'ions comme décrit par BLISS et al., (1986).

VI.5. CONCLUSION

Cette étude prouve que le stress causé par la salinité, chez les graines du Harmel, de deux origines géographiques étudiées, présente un effet de blocage sur le taux de germination. L'ampleur de cet effet est liée à taux de NaCl et de l'origine de la collecte des graines.

Effectivement, nous avons prouvé que dans les conditions testées, le taux de germination est moins élevé chez les gaines om la salinité est élevée (46,5% à Djelfa) Comparé à celui des graines prélevées d'un milieu à forte salinité (78,5% à Laghouat). En plus, cette capacité de germination varie en diminuant avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Aussi bien *In vitro* et *in vivo*, le pourcentage de germination est plus important lorsque les concentrations en NaCl sont faibles (0 à 1 g/l), il est moyen lorsque les concentrations varient entre 2 à 4g/l et sont très faible quand le taux de salinité dépasse 5g/l ; ce pourcentage est nul si la salinité dépasse 8g/l.

Nous avons remarqué que le temps nécessaire à la germination augmente, graduellement, avec la teneur en NaCl. Il passe de quelques jours, pour les concentrations faibles, jusqu'à plus de quatre semaines pour les concentrations dépassant 7g/l.

Ces données, préliminaires, constituent des indices intéressants qui permettraient de quantifier l'effet du stress causé par la salinité sur le pouvoir germinatif des graines du Harmel (*Peganum harmala* L.). Ceci consentirait l'élaborer une limite de la résistance à la salinité, ne devant pas dépasser les 4 grammes de NaCl par litre. Ce fait devrait aider considérablement à choisir les terres et les eaux d'irrigation lors du montage de programmes de mise en valeur dans nos régions arides et semi arides.

CHAPITRE VII

ETUDE DES EFFETS DE
SALINITE SUR LA CROISSANCE
DE *P. harmala*

VII.1. L'OBJECTIF

L'objectif de cette partie est l'étude des effets du NaCl sur le comportement physiologique de *P. harmala*, afin de déterminer le seuil de la meilleure croissance possible dans les conditions de stress salin.

VII.2. MATERIEL ET METHODES

VII.2.1. Protocole expérimental

Pour la réalisation de cet essai, nous avons adopté le même protocole expérimental appliquée dans le test de germination, c'est à dire nous avons préparé des solutions avec l'eau de robinet, en ajoutant une quantité précise de NaCl (tableau 35 et tableau 35 cités dans la page 106).

VII.2.2. Dispositif expérimental

Notre expérience s'est basée sur l'utilisation d'un dispositif expérimental de type Bloc aléatoire complet avec 3 répétitions et un seul facteur étudié : la dose de salinité, qui varie de 0 à 10g/l avec 1 g d'intervalle. Soit 11 traitements et 10 répétitions par traitements ; ce qui représente 330 unités expérimentales (Figure 36 et 37).



Figure 36 : Dispositif expérimental de la croissance de *P. harmala*.

Bloc 1	T ₉	T ₀	T ₄	T ₈	T ₃	T ₁₀	T ₆	T ₅	T ₂	T ₇	T ₁₀
Bloc 2	T ₁	T ₁₀	T ₉	T ₂	T ₈	T ₇	T ₀	T ₅	T ₃	T ₄	T ₆
Bloc 3	T ₆	T ₄	T ₃	T ₅	T ₀	T ₇	T ₈	T ₂	T ₉	T ₁₀	T ₁

Figure 37 : Schéma du dispositif expérimental de la croissance de *P. harmala*

VII.2.3. La mise en culture

Les graines sont disposées dans des boîtes de Petri et mise à l'étuve à 25°C. Après la germination, elles sont repiquées dans des pots de 220 ml rempli de sol et arrosés avec l'eau de robinet jusqu'à l'apparition de la première feuille. Après cela, les plants sont arrosés avec les eaux salines indiquées précédemment.

La mise en germination a été réalisée le 01/03/2014, et le début d'application des traitements d'irrigation a commencé le 22/03/2014.

VII.2.4. Les paramètres mesurés

Dans cette étude trois paramètres biométriques ont été mesurés : la hauteur, le nombre de feuilles et la biomasse aérienne (feuille + tige). Les coupes ont été réalisées périodiquement, durant le déroulement de l'expérience.

Ainsi, deux coupes ont été réalisées. La première, le 12/4/2014 (après 20 jours d'application des traitements) et la seconde, le 28/4/2014 (après 36 jours d'application des traitements).

i. **Hauteur :**

Les valeurs des hauteurs sont prélevées à la fin de l'expérimentation (la coupe). Les hauteurs sont mesurées en centimètre (cm), du collet à l'apex.

ii. **Nombre de feuilles :**

Il est déterminé, pour chaque plante, au moment de la coupe.

iii. **Poids frais aérien :**

à la fin de l'expérimentation (la coupe), nous avons pesé (en gramme « g ») le Poids frais aérien de chaque plant.

VII.3. RESULTATS

Les résultats obtenus montrent, clairement, l'influence de NaCl sur les différents paramètres physiologiques étudiés. Les figures (38 et 39) et les tableaux (39, 40 et 41) montrent, en détail, les résultats obtenus.



Figure 38 : Les plants de *P. harmala* après 20 jours de traitement à NaCl



Figure 39 : Une plantule témoin de *P. harmala*

Nous notons que les observations visuelles (figures 50 et 51) montrent qu'à partir de T5, les plantes deviennent plus chétives et de couleur jaune. En plus, lors de la deuxième coupe, c'est-à-dire 36 jours après l'application des traitements, il ne reste que des traitements à faible concentration (≤ 3 g / l), alors que les autres plantes sont mortes.

VII.3.1. Hauteur des plants

Tout d'abord, l'analyse de la variance de la hauteur des plantes (annexe 18) montre une différence très hautement significative ($P = 0,000$) pour la première coupe et une différence non significative pour la deuxième coupe.

Également, les résultats obtenus (tableau 39) montrent une hauteur très importante au niveau de T_0 et de T_1 , avec des valeurs de 1,25 et 1,31, respectivement, suivi par les traitements T_2 et T_3 , avec 1,14 et 1,12cm, ensuite les traitements T_4 et T_5 (0,98 et 1,03). Cependant, au-delà du traitement 5g/l, la hauteur des plantes est devenue moins importante (0,86 ; 0,89 ; 0,76 ; 0,89 ; 0,70), respectivement.

Pendant la deuxième coupe (36^{ème} jours après l'application des traitements) les valeurs des hauteurs varient entre 2,34 à 2,67 cm.

Tableau 39 : La hauteur des plants « cm » à différentes concentrations de NaCl

		T₀	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅	T₆	T₇	T₈	T₉	T₁₀
coupe 1	Moyenne	1,25	1,31	1,14	1,12	0,98	1,03	0,86	0,89	0,76	0,89	0,70
	Écart-type	±0,10	±0,22	±0,09	±0,08	±0,05	±0,15	±0,01	±0,08	±0,10	±0,19	±0,11
	Groupe	A	A	AB	AB	ABC	ABC	BC	BC	C	BC	C
coupe 2	Moyenne	2,41	2,59	2,34	2,67							
	Écart-type	±0,26	±0,21	±0,14	±0,17							

L'observation scientifique de ces résultats indique une relation régressive entre la hauteur des plantules et la concentration de NaCl.

VII.3.2. Nombre des feuilles

L'analyse de la variance du nombre des feuilles par plante (annexe 18) montre une différence très hautement significative ($P= 0,000$) pour la première coupe et une différence significative ($P= 0,039$) pour la deuxième coupe.

Les résultats obtenus (tableau 40) nous permettent d'enregistrer que, contrairement aux autres traitements, les traitements T_0 , T_1 , T_2 , et T_3 ont des valeurs moyennes proches de 9 feuilles (entre 9,00 et 9,66) pendant la première coupe, et des valeurs de 10,78 à 12,55 pendant de la deuxième coupe, avec une supériorité de T_3 , tandis que le nombre des feuilles chez les autres traitements diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration du NaCl.

Ces résultats mettent en évidence un effet néfaste de NaCl sur le nombre des feuilles à partir de T4.

Tableau 40 : Le nombre des feuilles par plant à différentes concentrations de NaCl

		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
coupe 1	Moyenne	9,66	9,33	9,00	9,66	8,66	7,66	8,00	7,66	7,33	7,00	6,66
	Écart-type	±0,18	±0,65	±0,55	±0,18	±0,18	±0,18	±0,55	±1,81	±0,39	±0,76	±0,18
	Groupe	A	AB	ABC	A	ABCD	BCDE	ABCDE	BCDE	CDE	DE	E
coupe 2	Moy	11,5	12,25	10,78	12,55							
	Écart-type	±0,54	±0,57	±0,32	±0,59							
	Groupe	AB	AB	B	A							

VII.3.3. Poids frais aérien des plants

Les résultats obtenus montrent, pour les deux coupes 01 et 02, un effet hautement significatif ($P= 0,003$ et $0,002$, respectivement) du sel sur le poids frais (annexe 18).

D'après nos résultats (tableau 41), nous constatons une influence positive, de l'effet de NaCl sur le poids frais, au niveau de T1, T2 et T3 ; avec des valeurs de 0,27 et 0,25 et 0,26 respectivement. Ces valeurs sont plus élevées que celles du témoin T0 (0,23) alors que le poids frais est inférieur de celui du témoin, à partir de T4, avec des taux de 0,21 jusqu'à 0,11 au niveau de T10.

Pour la deuxième coupe, les résultats obtenus montrent que les poids frais des traitements salins T1, T2 et T3 (0,45 ; 0,47 ; et 0,51, respectivement) sont plus important que celui de témoin T0 (0,34).

Tableau 41 : Le poids frais aérien des plants à différentes concentrations de NaCl

		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
coupe 1	Moyenne	0,23	0,27	0,25	0,26	0,21	0,20	0,15	0,15	0,12	0,17	0,11
	Écart-type	±0,01	±0,04	±0,03	±0,09	±0,03	±0,05	±0,03	±0,04	±0,02	±0,04	±0,04
	Groupe	AB	A	AB	A	AB	AB	AB	AB	AB	AB	B
coupe 2	Moyenne	0,34	0,45	0,47	0,51							
	Écart-type	±0,03	±0,03	±0,01	±0,03							
	Groupe	B	A	A	A							

VII.4. DISCUSSION

Pour bien étudier le comportement physiologique de *P. harmala*, vis-à-vis de la salinité, nous commençons par les remarques visuelles illustrées dans la figure 38. On y observe des plantes chétives, de couleurs jaunâtres, qui finissent par mourir, avec l'augmentation de la salinité, à partir de 4 g/l de NaCl. Ces résultats sont cohérents avec l'étude de TANG et *al.*, (2013) qui ont noté l'effet globale de la salinité, basé sur l'observation visuelle de la sénescence des feuilles, plus âgées, exposées à une salinité accrue ; le degré de sénescence des feuilles plus âgées apparaît plus grave et plus rapide avec l'augmentation de la concentration de la salinité. Cette inhibition de la croissance, dans des conditions salines sévères, est, généralement, associée à une déshydratation due à un stress hydrique accru et à la perte de turgescence cellulaire résultant d'un ajustement osmotique inadéquat des tissus (KHAN et *al.*, 1999).

Dans des conditions salines comme les nôtres, la croissance est liée non seulement aux effets osmotiques et nutritionnels, mais aussi aux perturbations de leurs processus physiologiques et métaboliques normaux (DAVID et *al.*, 2001). La salinité affecte la croissance et le développement des plantes, en général, par le stress osmotique limitant l'absorption d'eau et l'absorption excessive d'ions ; en particulier Na^+ et Cl^- qui, finalement, interfèrent avec divers processus métaboliques. Les plantes salinisées peuvent souffrir de toxicité métabolique, de carences et de déséquilibres en nutriments, de dysfonctionnement des membranes et de stress antioxydant, qui endommagent les tissus et induisent une sénescence précoce (TANG et *al.*, 2013).

D'un aspect global, nos résultats coïncident avec les travaux de NEDJIMI et *al.*, (2006) et l'affirmation de HIGBIE et *al.*, (2010) et TANG et *al.*, (2013) qui ont indiqué que la salinité influe significativement sur tous les paramètres physiologiques de la croissance tels que la hauteur de la plante, le poids des feuilles et le poids sec (TANG et *al.*, 2013), taille des feuilles, l'épaisseur de la tige, le poids des pousses et des racines (HIGBIE et *al.*, 2010). De plus, une longue exposition des plants de coton au stress salin retarde l'initiation des fruits, réduit le nombre des nœuds fruitiers, augmente la mue fruitière et retarde la maturité. Le poids des capsules et des graines, la longueur des fibres, la force des fibres, le pourcentage de peluches et le rendement sont réduits (HIGBIE et *al.*, 2010).

Par ailleurs, il est très important d'indiquer que les effets de la salinité, sur la croissance des plantes varient fortement, entre les espèces végétales et/ou au sein d'une même espèce (TANG et *al.*, 2013), en fonction du stade de croissance, de la concentration en sel et de la durée du traitement au sel (HIGBIE et *al.*, 2010).

Dans nos résultats, la croissance est favorisée par la concentration de 3 g/l (51,28mM/l) Ce résultat est similaire à celui de NEDJIMI et *al.*, (2006) qui ont trouvé que le poids sec des pousses et des racines a été favorisé à 50 mM, Na₂SO₄ et diminué à des salinités supérieures à 150 mM. Ainsi, KHAN et *al.*, (1999) ont découvert que la croissance a été, considérablement, favorisée à faible salinité (90 mol/m³), mais diminuée avec une augmentation de la salinité. Aux stades ultérieurs de la croissance, les plantes cultivées sous 360 mol/m³ NaCl n'ont pas survécu. En plus, TANG et *al.*, (2013) ont constaté que la croissance n'a pas été affectés par le NaCl, si la concentration est inférieur ou égale à 100 mM, mais a été progressivement réduite sous des concentrations variant de 150 mM à 300 mM de NaCl.

Pour cela, nous pouvons dire que notre espèce est une véritable halophyte qui pourrait compléter son cycle de vie dans des conditions salines, avec une croissance favorisée à une salinité et une survie modérée jusqu'à 3 g/l de NaCl (Équivaut à environ 50 mM/l).

VII.5. CONCLUSION

A la fin de ce travail, consacré à l'étude du comportement de la croissance de la plante *Peganum harmala* L., dans des milieux riches en NaCl, nous pouvons conclure que cette espèce peut croître de façon acceptable dans des environnements salins ne dépassant pas 3 g / l de chlorure de sodium. Ainsi, il est possible d'introduire cette espèce comme nouvelle culture adaptée aux conditions de salinité qui menacent les terres agricoles, en particulier dans les régions arides et semi-arides

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été consacrée au Harmel, *Peganum harmala* L., une plante célèbre, se caractérisant par une large étendue géographique. Cette plante est très utilisée, depuis l'Antiquité, dans la phytothérapie populaire à l'échelle mondiale. En plus de son utilisation dans les domaines pharmaceutique, industrielle et agricole, elle bénéficie d'un grand intérêt par la communauté scientifique, durant la dernière décennie.

Comme d'autres pays du monde, en particulier le monde arabe, l'Algérie est l'une des plus grandes zones de diffusion de cette plante. Cependant, son utilisation et son intérêt sont à peine mentionnés, en raison du manque de connaissance de ses propriétés et de ses bienfaits.

Vue l'étendue et l'amplification de la salinité dans les régions arides et semi-arides, il devient nécessaire de faire des études qui nous permettraient de mettre en culture des espèces végétales adaptées à ces climats et sols et offrant diverses utilisations socioéconomiques.

D'après les travaux menés dans notre étude, nous pouvons conclure avec certitude ce qui suit :

P. harmala L. est une espèce halophyte. Elle tolère la salinité. Sa croissance et sa capacité à produire des alcaloïdes ne sont pas affectées par l'excès de chlore et de sodium du sol.

L'ampleur de la tolérance, de cette plante aux conditions salines, est liée, non seulement, à la quantité de sels de Na^+ et/ou de Cl^- , mais, également, à la quantité d'autres sels minéraux présents dans le sol ; notamment le K^+ , le Ca^{++} et le Mg^{++} .

La capacité, de *P. harmala*, à produire des alcaloïdes dans un environnement avec des niveaux élevés de chlorure de sodium augmente lorsque le milieu contient un pourcentage élevé de calcium.

La qualité des alcaloïdes n'est pas affectée par la teneur élevée en chlorure de sodium, comme en témoignent les effets biologiques parfois égaux ou élevés, entre les extraits de Harmel de sol salin par rapport à celui des sols non salins.

L'extrait des feuilles du Harmel est un bon bio-herbicide, même s'il est originaire des sols chargés de sels. Il a un effet sélectif très efficace contre les espèces adventices cibles, en particulier les dicotylédones. Vu l'effet négatif limité contre la culture du blé, son utilisation peut être considérée d'un niveau acceptable.

Nous pouvons, également conclure que le stress salin exerce, chez les graines de *Peganum harmala* L., un effet répressif sur la faculté germinative. Le degré d'affection dépend de la concentration de NaCl et de l'origine géographique des graines. En effet, le pourcentage de germination est plus faible (46,5%) chez les gaines issues d'un milieu salin (Djelfa) par rapport à celui de celles prélevée d'un milieu non salin (78,5% ; Laghouat). De plus, cette faculté germinative varie progressivement avec la concentration de NaCl ; *in vitro* comme *in vivo*, le taux de germination est plus élevé chez les faibles concentration (0 à 1 g/l), acceptable pour des concentrations allant de 2 à 4g/l et très faible au-delà de 5g/l ; elles deviennent nulles au-delà de 8g/l.

Le délai de germination augmente progressivement avec la concentration de NaCl. Il varie de quelques jours pour les faibles concentrations jusqu'au plus d'un mois pour des concentrations supérieures à 7g/l.

Ces résultats préliminaires constituent des marqueurs importants permettant de déchiffrer, davantage, l'influence du stress salin sur le comportement germinatif des graines de *Peganum harmala* L. Ce résultat a permis d'élaborer un seuil de tolérance à la salinité (4 g/l de NaCl) qui ne doit pas être dépassé pour permettre la germination. Par ailleurs, cette espèce peut croître de façon acceptable dans des environnements salins ne dépassant pas 3 g/l de chlorure de sodium.

Par conséquent, ce travail constitue un critère important permettant le choix des terrains ou des eaux d'irrigation à retenir dans un programme de mise en valeur des zones arides et semi-arides, en introduisant cette espèce comme une nouvelle culture adaptée aux conditions de salinité qui menacent les terres agricoles.

Pour une meilleure exploitation de cette plante, nous proposons comme perspectives, d'une part, d'élargir l'étude de l'utilisation de l'extrait de cette plante sur un large spectre d'agents phytopathogènes et de mauvaises herbes. D'autre part, de chercher à connaître les meilleures conditions pédoclimatiques nécessaires pour la réussite de la culture, et d'en maîtriser les moyens techniques.

**LISTE DES REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBASSI, K., MERGAOUI, L., ATAY, Z., KADIRI, STAMBOULI, A. et GHAOUT, S. (2003).** Effets des extraits de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) sur le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål. 1775). Zool. baetica. vol.13/14: 203-217. ISSN: 1130-4251
- ABDUL, H., MUHAMMAD, Z. A. and KHAN, A. M; (2006).** Comparative effects of NaCl and seasalt on seed germination of coastal halophytes. Pak. J. Bot. 38 (5): 1605-1612.
- ABIDEEN, Z., ANSARI, R. and KHAN, A.M. (2011).** Halophytes: Potential source of ligno-cellulosic biomass for ethanol production. Biomass and Bioenergy. 35(5):1818-1822
- ACHERKOUK, M., MAATOUGUI, A. et EL HOUMAIZI, M. A. (2012).** Étude de l'impact d'une mise en repos pastoral dans les pâturages steppiques de l'Oriental du Maroc sur la restauration de la végétation. Science et changements planétaires / Sécheresse. 23 (2) : 102-12.
- ACHOUR, S., SAADI. H., TURCANT, A., MOKHTARI, A., SOULAYMANI, A. et BENCHEIKH, R. (2012).** Intoxication au *Peganum harmala* L et grossesse: deux observation marocaines, Journal Médecine et santé tropicales, Maroc.
- AIME, S. (1988).** Aspects écologiques de la présence de quelques espèces steppiques (*Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum*, *Artemisia herba-alba*, *Noaea mucronata*) en Oranie littorale. Biocénoses. Bull. Ecol. Terr. 3 (12) :16-24.
- ALISKAN, I. K et TERZI, I. (2001).** Allelopathic effects of walnut leaf extracts and juglone on seed germination and seedling growth, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 76:4, 436-440, DOI: [10.1080/14620316.2001.11511390](https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511390)
- AL-RAWAHY, S.A, STOEHLIN, J.L., PESSARAKLI, M. (1992).** Dry-mater yield and nitrogen-15, Na⁺, Cl⁻ and K⁺ conent of tomatoes under sodium chloride stress. Journal of plant nutrition 15(3): 341-358 .
- AMEZIANE, N., BOUBAKER, H., BOUDYACH, H., MSANDA, F., JILAL, A., AIT, and BENAOMAR. A. (2007).** Antifungal activity of Moroccan plants against citrus fruit pathogens. Agron. Sustain. Dev. 27:273–277. DOI: 10.1051/agro:2007022
- ANDREW, C. (2001) :** Encyclopédie des plantes médicinales, (traduire par Vican Pierre). 2nd ed. Ed. Larousse-Bordas.335p . ISBN: 2-03-560252-1
- ANISZEWSKI, T. (2007).** Alkaloids-Secrets of Life: Aklaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role: Elsevier. Amsterdam .316p
- ANNOU, G., et OULD EL-HADJ KHELIL, A. (2012).** Mécanises adaptatifs de l'halophyte *Spontanee sueada mollis* sous deux régimes hydriques différents de la région de Ouargla. Annales des sciences et technologie. Algérie. Vol. 4, N° 1.9-17
- AOUADHI, S. (2010).** Atlas des risques de la phytothérapie traditionnelle étude De 57 plantes recommandées par les herboristes ,15-166.

- ARMIN, M. S., SULTAN-AHMAD, E. and MASSOUD, M. (2002).** An in vitro evaluation of human DNA topoisomerase I inhibition by *Peganum harmala* L. seeds extract and Its β -carboline alkaloids. *J Pharm Pharmaceut Sci* . 5(1):19-23
- ASGARPANAH, J. et RAMEZANLOO, F. (2012).** Chemistry, pharmacology and medicinal properties of *Peganum harmala* L. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 6(22) : 1573-1580,
- ASILBEKOVA, D. T., GLUSHENKOVA, A. I., KHUSHBAKTOVA, Z. A., SYROV, V. N., And ABDULLAEV, N. D. (2010).** Composition of lipids from *Peganum harmala* and *Thermopsis alterniflora* processing wastes. *chemistry of natural compounds*, 46(2):285-286
- ASLAM, M. M., JAMIL, M., MALOOK, I., KHATOON, A., REHMAN, A., RAHIM, P. K., SHAKIR, S. U. K., IRFAN, S., F. ULLAH, A., AFRIDI, K. B. M. and UR REHMAN, S. (2016).** Phytotoxic effects of *calotropis procera*, *tamarix aphylla* and *peganum harmala* on plant growth of wheat and mustard. *Pakistan J. Agric. Res.* 29 (1): 43-52
- ASLAM, N., WANI, A.A., NAWCHOO, I.A., et BHAT, M.A., (2014).** Distribution and medicinal importance of *Peganum harmala*-a. review. *Int. J. Adv. Res.* 2, 751-755.
- ASTULLA, A., ZAIMA, K., MATSUNO, Y., HIRASAWA, Y., EKASARI, W., WIDYAWARUYANTI, A., ZAINI N, C. and MORITA, H. (2008).** Alkaloids from the seeds of *Peganum harmala* showing antiplasmodial and vasorelaxant activities. *J Nat Med.* 62:470–472
- AUBERT. G.j., BOULAINÉ. J., DUCHAUFOR. P., (1967).** Classification des sols. 87 p. miméo, Lab. Géol. Pédol., Éc. Nat. Sup. Agron. Grignon.
- AZIZ, I. and KHAN, A. M. (2003).** Proline and water status of some desert shrubs before and after rains. *Pak. J. Bot.*, 35 (5): 902-906,
- BABA SIDI-KACI S. (2020).** Facteurs impliqués dans la germination et la levée des mauvaises herbes dans quelques agrosystèmes de la région de Ouargla. These de Doctorat, Université Kasdi Merbah – Ouargla. 117p
- BAJJI, M., KINET, J-M and LUTTS, S. (2002).** Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany.* 80 :297–304
- BARKER, A. V. and PILBEAM, D. J. (2006).** Handbook of Plant Nutrition. Ed. CRC Press. 660p
- BASHOUR, I. I. and SAYEGH, A. H. (2007).** methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions. Ed, FAO, Rome, 119 p
- BEHIDJ-BENYOUNES, N., DAHMANE, T., AKNOUCHE, F. et DEMMOUCHE, K. (2013).** Screening phytochimique et évaluation de l'activité antimicrobienne des alcaloïdes des feuilles de *Peganum harmala* L. RECOLTEES DANS LA REGION DE M'SILA. *Sciences & Technologie C* (38).27-37.
- BELLAKHDAR, J. (1997).** La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires. Ibis Press, Saint Etienne, 764

- BEN NACEUR, M., RAHMOUNE C., SDRI, H., MEDDAHI, M. et SELMI, M. (2001).** Effet de stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sècheresse*. 12 :167-174
- BENABADJI, N., ABOURA, R. et BENCHOUK, F. Z. (2009).** La régression des steppes méditerranéennes : le cas d'un faciès à *Lygeum spartum* L. d'Oranie (Algérie). *ecologia mediterranea*. Vol. 35 :75-90
- BENARAB, H. (2021).** Effets des huiles essentielles de l'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso.), l'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) et le Harmel (*Peganum harmala* L.) sur la germination des graines des adventices des cultures. THÈSE. DOCTORAT. UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF. 100 pages
- BENAROUS, K. (2014).** Etude de l'activité antioxydante et de l'activité inhibitrice des extraits de *Peganum harmala*, *Inonotus hispidus*, *Marrubium vulgare*, *Ziziphus lotus* et *Achillea santolina* sur la lipase de *Candida rugosa*. Thèse de Doctorat. École Normale Supérieure de Kouba-Alger. 158p
- BENBOTT, A., BAHRI, L., BOUBENDIR, A. and YAHIA, A. (2013).** Study of the hemical components of *Peganum harmala* L and evaluation of acute toxicity of alkaloids extracted in the wistar albino mice. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 4(4) :558-565
- BEN-GHABRIT S., BOUHACHE M. & AKKIF M. (2017).** Effets allélopathiques d'une adventice envahissante (*Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. & Hook.f.) sur la germination et la croissance du blé dur. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, N° 11: 17-28
- 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. These. Magister. UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF. 100 pages
- BINET, P. (1970).** Halophytes. In *Encyclopedia Universalis*, Laffont, Paris, 8, 224-225.
- BITCHAGNO, GTM., EI 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
- BLISS, R-D., PLATT-ALORIA, K-A. et THOMSON, W-W. (1986).** Sensibilité osmotique par rapport à la sensibilité à la germination des graines d'orge. *Plant Cell and Environment*, vol. 9, 721-725.
- BLUMWALD E., AHARON, G. S., APSE, M. P. (2000).** Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1465 (2000) 140–151
- BOTIA, P., CARVAJAL, M., CERDA, A., et MARTINEZ, V. (1998).** Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth. *Agronomie* 18: 503-513.
- BOUDA, S. et HADDIOUI, A.M. (2011).** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Nature & Technologie*. 05 : 72-79

- BOUZIANE, N. (2012).** Toxicité comparée des extraits d'*Euphorbia guyoniana* and Reut.(*Euphorbiaceae*) et de *Peganum harmala L.* (*Zygophyllaceae*) récoltés au Sahara Septentrional Est algérien sur les larves et les adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål,1775), 82pThèse De Magister: Université kasdiMerbah- Ouargla.46
- BRUNETON, J. (1999).** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. 3^{ème} ed. Ed. Tec & Doc. Lavoisier. France. 1120p.
- CALVET, R. (2003).** Le sol propriétés physicochimiques /T2.Ed. France agricole, 511p.
- CALVIN, C., BERNARD, B. B. and HAK-YOON, JU. (2001).** Germination and emergence, in: handbook of plant and crop physiology. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. NewYork. PESSARAKLI, M. (Edit).pp57-115
- CELIO, N. and ANDRD, P. (1989).** Methods of K-research in plants. 21st Colloquium of the International Potash Institute. Louvain-la-Neuve, Belguim. Ed. Lang Druck AG, Liebefeld-Bern.300p
- CHAIIEB, M. et ZAAFOURI, M. S. (2000).** L'élevage extensif, facteur écologique primordial de la transformation physiologique du cortège floristique en milieu steppique tunisien. CIHEAM -Options Méditerranéennes, Sér. A / n°39, pp 217-222. 14 réf. 2000 - Rupture... nouvelle image de l'élevage sur parcours.
- CHAKRAVARTY, H.L. (1976).** Plant Wealth of Iraq, Vol. 1. Ministry of Agriculture and Agrarian Reforms. Baghdad.506 pp.
- CHAUDHARY, R.C ; NANDA, J.S et TRAN, D.V. (2003).** Guide d'identification des contraintes de terrain à la production de riz. ED. ©FAO. ROME, 63p.
- CHEHMA, A. (2006).** Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Ed. eco-sys. Université Kasdi Merbah, Ouargla.141p.
- CHOUKR-ALLAH, R. (1997).** The potential of salt -tolerant plants for utilisation of saline water. Ed. CIHEAM- Options Méditerranéennes, Sér. A /n031. pp 313-325.
- CHROMINSKI, A., WEBER, D.J., SMITH, B.N. and KHAN, A.M. (1986).** NaCl-Salinity-Dependent conservation of ACC to ethylene in the halophyte, *Allenrolfea occidentalis*. Ed. Springer-Verlag. Naturwissenschaften 73,S.274.
- DAVID, N. S., PAWAN, K. K., and SHER, M. (2001).** Biology and Physiology of Saline Plants, in: handbook of plant and crop physiology. 2nd ed. Marcel Dekker,Inc. NewYork. PESSARAKLI, M. (Edit). pp563-581
- DEBEZ, A., BEN HAMED, K., GRIGNON, C. et ABDELLY, C. (2004).** Effets de la salinité sur germination, la croissance, et la production des semences de l'halophyte *maritima Cakile*. Plant Soil, Vol.262, p179-189.
- DEBEZ, A., CHAIBI, W. et BOUZID, S. (2001).** Effet du NaCl et de régulateurs de croissances sur la germination d'*Atriplex halimus L.* : Cahier d'étude et de recherches francophones, Campus Universitaire (Tunisie). 10(2) : 78-85.
- DERAKHSHANFAR, A., OLOUMI, MIRZAI, M. (2009).** Study on the effect of *Peganum harmala L* extrat on experimental skin wound healing in rat: pathological and biomechanical findings. Comparative Clinical Pathology 19(2):169-172

DIRECTION DE L'AMENAGEMENT DES TERRES. (2001). Guide de fertilisation des cultures. Ed. Brunswick, Canada, 34p

DOGAN, A. (2004). Antep Turpu (*Raphanus sativus* L.)'nun Misir Bitkisine ve Yabanci Ot Turlerine Olan Allelopatik Etkisinin Arastirilmesi. Cukurova Universitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yuksek Lisans Tezi (in Turk with English summary). 83 pp.

DUBOIS, M., GILLES, K.A., HAMILTON, J.K., REBERS, P.A and SMITH, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Ann. Chem. 28: 350-356

EDZIRI, H., MASTOURI, M., MATIEU, M., ZINE M., GUTMAN, L. and AOUNI M. (2010). Biological activities of *Peganum harmala* leaves. African Journal of Biotechnology Vol. 9(48), 8199-8205.

EI ALLAGUI, N., TAHROUCH, S., BOURIJATE, M et HATIMI, A. (2007). Action de différents extraits végétaux sur la mortalité des nématodes à galles du genre *Meloidogyne* ssp. *Acta Bot. Gallica*, 154 (4), 503-509.

ELLAFI, S. (1986). L'ectomycorhize et ses applications dans le reboisement des zones arides et semi-arides. Ed. Institut des régions arides. Actes du séminaire organisé dans le cadre du projet-pilote de lutte contre la désertification dans le sud-tunisien, Djerba (Tunisie), 24-29 novembre 1986, PP 162-172

FAO. (2002). Eau et agriculture : produire plus avec moins d'eau, Ed. FAO, Rome, 22p

FAO. (2003). Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture. Ed. FAO, Rome. 63p. ISBN 92-5-204911-8.

FARAGO, M. E. (1994). Plants and the Chemical Elements. VCH - New York - 198p

FARAJOLLAHI, A., TAVILI, A., GHOLINEJAD, B., DARINI, J. and 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.

FARID, M.F. A. (1989). water and minerals problems of the dromedary camel (an overview). *CIHEAM - Options Méditerranéennes – Série A- Séminaires – n° 2 - 1989*: 111-124

FASKHUTDINOV, M. F., TELEZHENETSKAYA, M. V., LEVKOVICH, M. G. and ABDULLAEV, N. D. (2000). alkaloids of *Peganum harmala*. *Chemistry of Natural Compounds*, Vol. 36, No. 6.

FRISON, G., FAVRETTO, D., ZANCANARO, F., FAZZIN, G. and FERRARA, S. D. (2008). A case of β -carboline alkaloid intoxication following ingestion of *Peganum harmala* seed extract. *Forens Sci Int.*, 179(2): 37–43.

GARTNER, B. L. (1995). Plant Stems: Physiology and Functional Morphology. Ed. Academic Press. California. 440p

GELLA, D., ASHAGRE, H. and NEGEWO, T. (2013). Allelopathic effect of aqueous extracts of major weed species plant parts on germination and growth of wheat. *Journal of Agricultural and Crop Research*. Vol. 1(3), pp. 30-35, ISSN: 2384-731X

- GHAFFARBI, S. P. ; HASSANNEJAD, S. and LOTFI, R. (2012).** Allelopathic effects of wheat seed extracts on seed and seedling growth of eight selected weed species. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*. 4 (19) :1452-1457
- GHEZLAOUI, B-E., BENABADJI, N., BENMANSOUR, D., et MERZOUK, A. (2011).** Analyse des peuplements végétaux halophytes dans Le Chott El-Gharbi (Oranie-Algérie). *Acta Botanica Malacitana* 36. 113-124
- GILL, P. K., SHARMA, A. D., SINGH, P. and BHULLAR, S. S. (2003).** Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds under various abiotic stresses. *Plant Growth Regulation*. 40:157–162.
- GLENN, E., JED BROWN, J. and BLUMWALD, E. (1999).** Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18(2):227-255, DOI:[10.1080/07352689991309207](https://doi.org/10.1080/07352689991309207)
- 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*, 2009;7(7), ISSN 1545-0740,
- GOMES, F-E., PRISCO, J-T., CAMPOS, F-A-P et FILHO, E-J. (1983).** Effets de la salinité NaCl in vivo et in vitro l'activité ribonucléase des cotylédons *Vigna unguiculata* cours de la germination. *Physiologie de la Plante*. Vol.59, p.183-188.
- GRENNAN, A.K (2006).** High impact abiotic stress in rice. An "Omic" Approach; *Plant Physiology*. Vol. 140, pp. 1139–1141.
- GROOME, M-C., AXLER, S et GFFORD, D-J. (1991).** L'hydrolyse des réserves de lipides et de protéines dans les graines de pin à encens en ce qui concerne la configuration des protéines par électrophorèse après imbibition. *Plant Physiol*, Vol. 83, p. 99-106.
- GROUZIS, M., HEIM, G. et BERGER, A. (1977).** Croissance et accumulation de sels chez deux salicornes annuelles du littoral méditerranéen. *Ecol. Plant.*, 12 (4), 307-322.
- GUITTONNEAU G-G. (2011).** Flore et végétation de la Tunisie méridionale. La Société botanique de France. 281-359.
- HAJLAOUI, H., DENDEN, M. and BOUSLAM, A. (2007) :** Etude de la variabilité intra spécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*ciceraietinum* L.) au stade de germination. *TROPICULTURA*, 35, 3. pp168-173.
- HAMLIN, G. J. ; FLOWERS, T.J. and JONES, M.B. (1993).** PLANTS UNDER STRESS. *Biochemistry, Physiology and Ecology and their Application to Plant Improvement*. Society for experimental biology seminar series 39. 1st ed. Ed. Cambridge University Press. New York. 257p. ISBN 0-8247-5904-4
- HAMMOUDA, M.A. and. BAKR, Z. Y. (1969).** Some aspects of germination of desert seeds. *Phyton* (Austria).Vol.13, Fasc. 3-4. 183-201.
- HAOUALA, F., FERJANI, H. and EL HADJ, S.B. (2007).** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca⁺²) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et en Environnement*, 11 :235-244.
- HASHEM, M. (2011).** Antifungal properties of crude extracts of five egyptian medicinal plants against dermatophytes and emerging fungi. *Mycopathologia*.172:37–46. DOI 10.1007/s11046-010-9390-6

HENDRIX, E. (2002). Production-Related Assimilate Transport and Partitioning. In Pessarakli Mohammad. Handbook of plant and crop physiology. 2^{ème} ed. Ed. printed in the united states of america. 421-448

HIGBIE, S.M., WANG F, STEWART, J. M., STERLING, T.M., LINDEMANN, W. C., HUGHS, E. and ZHANG, J. (2010). Physiological Response to Salt (NaCl) Stress in Selected Cultivated Tetraploid Cottons. International Journal of Agronomy. doi:10.1155/2010/643475

HUA, S., XIAOLI, H., YUANMING, Z. and CHI, Z. (2013). Main Alkaloids of *Peganum harmala* L. and Their Different Effects on Dicot and Monocot Crops. Molecules, 18(3), 2623-2634. <https://doi.org/10.3390/molecules18032623>

IDRISSI Hassani, L. M et HERMAS, J. (2008). Effets de l'alimentation en *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) sur le tube digestif du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae). *Zool. baetica*, vol. 19, 71-84,

IDRISSI Hassani, L.M. et El HADEK M. (1999). Analyse de la composition de l'huile de *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae). *Acta Botanica Gallica*, 146 (4). 353-359. <http://dx.doi.org/10.1080/12538078.1999.10515822>

JIN H. and LI-ZHE, A. (2009). Isolation and characterization of microsatellite loci in *Peganum harmala* L (Peganaceae), an important resist-drought and medicinal plant. *Conserv Genet* 10, 1899–1901 . <https://doi.org/10.1007/s10592-009-9849-5>

KARTAL, M., ALTUN, M. L. and KURUCU, S. (2003). HPLC method for the analysis of harmol, harmalol, harmine and harmaline in the seeds of *Peganum harmala* L. 31(2):263-9. doi: 10.1016/s0731-7085(02)00568-x

KAYA, E and AKBAS, P. (2023). Determination of the Antimicrobial, Antioxidant Activities and Fatty Acid Composition of *Peganum harmala* Seed. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol.66: e23220237. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2023220237>

KHAN, A. M. and GUL, B. (2008). Halophyte seed germination, in. *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Ed. Springer. the Netherlands. M. AJMAL KHAN and DARRELL J. WEBER(edits).pp 11-30

KHAN, A. M., UNGAR, I. A. and SHOWALTER, A. M. (1999). Effects of salinity on growth, ion content, and osmotic relations in *Halopyrum mucronatum* (L.) Stapf., *Journal of Plant Nutrition*, 22(1). 191 - 204.

<http://dx.doi.org/10.1080/01904169909365617>

KHASHIMOV, Kh. N., TELEZHENETSKAYA, M. V., and YUNUSOV, S. Yu. (1969). Peganidine: a new base from *Peganum harmala*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*, Vol. 5, No. 6, pp. 599-600.

KHASHIMOV, Kh. N., TELEZHENETSKAYA, M. V., SHARAKHIMOV, N. N., and YUNUSOV, S. Yu. (1971). The dynamics of the accumulation of alkaloids in *Peganum harmala*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*, No. 3, p. 382.

KHEMIRI, H., BELGUTH, H, JRIDI, T., BEN EL ARBI, M et BEN HAMIDA, J. (2004). caractérisation biochimique d'une amylase active au cours du processus germinatif des graines de Colza (*Brassica napus* L.). Congrès International de Biochimie, Marrakech, Maroc, 3-6 Mai 2004. 146-149pp

- KOTUBY-AMACHER, J., KOENIG, R. et KITCHEN, B. (1997).** La salinité et la tolérance des plantes. USDA. 15p
- KOZLOWSKI, Theodore T. and PALLARDY, Stephen G. (1997).** Physiology of Woody Plants. 2^d ed. Ed. Academic Press. California. 411 p
- KUBITZKI, K. (2011).** The families and genera of vascular plants. DIO. Germany. X (5): 417-431.
- LACHIHEB, K., NEFFATI, M. et ZID, E. (2004).** Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale, in : *Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens*. CIHEAM. Zaragoza. (Cahiers Options Méditerranéennes ; n° 62 : 89 -93
- LAFON, J.P., THRAUD-PRAYER, C. et LEVY, G. (1996).** Biochimie structurale en biologie des plantes cultivées. Tome 1 : Organisation physiologie de la nutrition. 2^{eme} ed. Ed.Tec et Doc, Lavoisier.102p
- LAHLOU, .M, BADRAOUI, .M et SOUDI, .B. (2000).** Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués. *Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000, pp135-151*
- LAHRAOUI, L. (1986).** Teledetection des processus de desertification dans un territoire du haut atlas oriental marocain (province d'errachidia). Ed. Institut des régions arides. Actes du Séminaire organisé dans le cadre du Projet-pilote de lutte contre la désertification dans le sud-tunisien, Djerba (Tunisie), 24-29 novembre 1986, PP 263-281
- LAMCHOURI, F., ZEMZAMI, M., JOSSANG, A., SETTAF, A., ISRAILI, Z. H and LYOUSSI, B. (2013).** Cytotoxicity of alkaloids isolated from *Peganum harmala* seeds. Pak. J. Pharm. Sci., Vol.26, No.4, July 2013, pp.699-706
- LEVIGNERON, A., LOPEZ, F., VANSUYT, G., BERTHOMIEU, P., FOUECROY, P. et CASSE-DELBART, F. (1995).** Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures.4: 263-273
- LI, S., CHENG, X. and WANG, C. (2017).** A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of the genus Peganum. *Journal of Ethnopharmacology*, 203 , pp. 127-162.
- LI, W., AN, P., LIU, X., KHAN, M.A., TSUJI, W. and TANAKA, K. (2008a).** The effect of light, temperature and bracteoles on germination of polymorphic seeds of *Atriplex centralasiatica* Iljin under saline conditions. *Seed Sci. & Technol.*, 36, 325-338
- LI, W-Q., XIAO-JING, L., KHAN, A. M. and GUL, B. (2008b).** relationship between soil characteristics and halophytic vegetation in coastal region of north china .Ed. Pak. J. Bot., 40(3): 1081-1090
- MAHMOUDIAN, M., JALILPOUR, H. and SALEHIAN, P. (2002).** Toxicity of *Peganum harmala*: Review and a Case Report. Ed. Copyright © 2002 by Razi Institute for Drug Research (RIDR). (IRANIAN JOURNAL OF PHARMACOLOGY & THERAPEUTICS) IJPT | Autumn 2002 | vol. 1 | no. 1 | 1-4
- MAIRE. R. (1964).** FLORE DE L'AFRIQUE DU NORD (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). Vol. 11. Ed. PAUL LECHEVALIER. Paris

- MANSKE, R. H. F. and HOLMES, H. L. (1950).** The alkaloids: Chemistry and Physiology. Academic Press Inc., Publishers. New York. Volume I .500p
- MARANI, M., DA LIO, C. and D'ALPAOS, A. (2013).** Vegetation engineers' marsh morphology through multiple competing stable states. PNAS. 110 (9) 3259-3263. <https://doi.org/10.1073/pnas.1218327110>
- MARCUM, K.B. (2006).** Use of saline and non-potable water in the turfgrass industry: constraints and developments. Agri. Water Manag., 80, 132-146.
- MBIANTCHA, M., KAMANYI, A., TEPONNO, R.B., TAPONDJOU, L.A., WATCHO, P. and NGUELEFACK, T.B. (2011).** Analgesic and Anti-Inflammatory Properties of Extracts from the Bulbils of *Dioscorea bulbifera* L. var sativa (Dioscoreaceae) in Mice and Rats. Evid. Bas. Compl. Alter. Medi. Hind. J., 1-9.
- MEKSEM, N. (2018).** Etude De L'effet Biopesticide Des Extraits Naturels De Deux Plantes De La Famille Des Myrtacées : *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*. These. Doctorat. Universite Badji Mokhtar – Annaba.
- MERCK INDEX. (1989).** *An Encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals. 11^{eme} édition.* Ed. Merck, Rahway, N.J., U.S.A., 1606 pp.
- MOULAY, A., BENABDELI, KHÉLOUFI K. et MORSLI, A. (2011).** Contribution a l'identification des principaux facteurs de degradation des steppes a *Stipa tenacissima* du sud-ouest Algerien. Mediterranea Serie De Estudios Biológicos. 2011 Época II N° 22. Ed. Universidad de Alicante. 149-188pp
- MUNNS, R. (2002).** Comparative physiology of salt and water stress. Plant cell and environment. 25: 239-250.
- MUNNS, R. and TESTER, M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. Annual review of plant biology. 59,651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- NASEHI, M., PIRI, M., NOURI, M., FARZIN, D., NAYER-NOURI, T. and ZARRINDAST, M. R. (2010).** Involvement of dopamine D1/D2 receptors on harmane-induced amnesia in the step- down passive avoidance test. *European Journal of Pharmacology*. 634 : 77-83.
- NEDJIMI, B., DAOUD, Y. and TOUATI, M. (2006).** Growth, water relations, proline and ion content of in vitro cultured *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* as affected by CaCl₂. International Journal of the Faculty of Agriculture and Biology, Warsaw Agricultural University, Poland, Communications in Biometry and Crop Science. 1(2): 79–89.
- NISA-MEHRUN, KHAN, M.A. and WEBER, D.J. (2007).** Dormancy, germination and viability of *Salsola imbricata* seeds in relation to light, temperature and salinity. *Seed Sci. & Technol.*, 35, 595-606
- NISAR, F., GUL, B., KHAN, AJMAL M. and HAMEED. A (2019).** Germination and recovery responses of heteromorphic seeds of two co-occurring *Arthrocnemum* species to salinity, temperature and light. South African Journal of Botany. 121: 143–151
- OZENDA, P. (1991).** Flore et végétation du Sahara. 3^{ème} ed, Ed CNRS, Paris, 662 p.

- PATEL, K., GADEWAR, M., TRIPATHI, R., PRASAD, S. K. and DINESH KUMAR, Patel. (2012).** A review on medicinal importance, pharmacological activity and bioanalytical aspect of beta- carboline alkaloid * harmine*. *Asian Pacific Journal Of Tropical Biomedicine*. 660-664. [https://doi.org/10.1016%2FS2221-1691\(12\)60116-6](https://doi.org/10.1016%2FS2221-1691(12)60116-6)
- PHOCAIDES, A. (2008).** Manuel des techniques d'irrigation sous pression. 2^{ème} ed. Ed. FAO. Rome, 308p
- PRADO, F. E., BOERO, C., GALLARDO, M., and GONZALEZ, J. A. (2000).** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41: 27-34.
- PREEDY, V. R., WATSON, R.R and VINOOD, P.B. (2011).** Nuts and seeds in health and disease prevention, 1^{éd}; USA.chapter 70 and 71, 601-608.
- PUJOL, J-A., CALVO, J. et RAMIREZ-DIAZ, L. (2000).** Récupération de la germination par quatre halophytes sous différentes conditions osmotiques du sud Est de l'Espagne. *Annale Botanique*, Vol.85, 279-286.
- QUEZEL, P. et SIMONNEAU, P. (1960).** Quelques aspects de la végétation des terrains sales des plaines Sub-Littorales de l'Oranie Orientale - Essai sur les rapports entre les groupements végétaux et les teneurs du sol en sels solubles. *Travaux Des Sections Pedologie Et Agrologie*, Bulletin n° 6 - 1960 Alger
- QUEZEL, P., SANTA, S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I. Ed. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. 565p.
- REDA TAZI, M., BERRICHI, A., et HALOUI, B. (2001).** Germination et croissance in vitro de l'arganier (*Arganiaspinosa* L. Skeels) des Beni-Snassen (Maroc oriental) à différentes concentrations en NaCl. *Maroc*. Vol.21 :163-168.
- REJILI, M., VADEL, M. A. et NEFFAT, P. M. (2006).** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17.1 : 65- 78.
- 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, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sétif, 78p
- RHOADES, J.D., KANDIAH, A and MASHALI, A.M. (1992).** The use of saline waters for crop production - FAO irrigation and drainage paper 48. Ed.© FAO.M-56. Rome. 115p. ISBN 92-5-103237-8
- RICE, E.L. (1984).** Allelopathy. ed 2^{sd}. Ed. Academic press, INC. Oklahoma. 353p
- RONSE DECRAENE, L.P., De LAET, J. and SMETS, E. F. (1996).** Morphological studies in zygophyllaceae. II. The floral development and vascular anatomy of *Peganum harmala*. *American Journal of Botany*, 83(2): 201-215
- ROUABHIA, A.E.K et DJABRI, L. (2010).** L'irrigation et le risque de pollution saline - exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'el ma el abiod. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08 : 55-67

- SANKARY, N. (1986).** Les formations et les successions végétales dans les milieux sableux arides et leur importance dans la prévision et la lutte contre la désertification. Actes du Séminaire organisé dans le cadre du Projet-pilote de lutte contre la désertification dans le sud-tunisien. Djerba (Tunisie), 24-29 :115-132
- SHABALA, S. (2017).** Plant Stress Physiology, 2nd ed. Ed CABI. Australia. 362p.
- SHEREEN K. Ali., Ahmed R. hamed., Maha Soltan., Usama Hagazy., Esameldin Elgorashi., Ibrahim Elgaref and Ahmed A Hussein. (2013).** In vitro evaluation of selected Egyptian traditional herbal medicines for treatment of Alzheimer disease. BMC Complementary and Alternative Medicine 13(1):121. DOI:[10.1186/1472-6882-13-121](https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-121)
- SHI, H., ISHITANI, M., KIM, C. and ZHU, G-K. (2000).** the Arabidopsis thaliana salt tolerance gene SOS1 encodes a putative Na⁺ /H⁺ antiporter. PNAS. 97 (12):6896-6901
- SIDDIQUI, S., KHAN, O.Y., FAIZI, S. and SIDDIQUI, B. S. (1988).** Studies in the chemical constituents of the seeds of *Peganum harmala*: Isolation and structure elucidation of two β -carboline lactams, harmalanine and harmalacidine. Heterocycles, 27 : 1401-1410.
- SODAEIZADEH, H., RAFIEIOLHOSSAINI, M. and VAN DAMME, P. (2010).** Herbicidal activity of a medicinal plant, *Peganum harmala* L., and decomposition dynamics of its phytotoxins in the soil. Industrial Crops and Products .31(2):385-394. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.12.006>Get rights and content
- SODAEIZADEH, H., RAFIEIOLHOSSAINI, M., HAVLIK, J. and VAN DAMME, P. (2009).** Allelopathic activity of different plant parts of *Peganum harmala* L. and identification of their growth inhibitors substances. *Plant Growth Regulation*. 59: 227–236
- SUN, B-Y., TAN, J-Z., WAN, Z-G., GU, F-G. and ZHU, M-D. (2006).** Allelopathic effects of extracts from *Solidago canadensis* L. against seed germination and seedling growth of some plants. Journal of Environmental Sciences. 18(2): 304-309.
- TAFTI, M. M., FARHOUDI, R., RABIEE, M. and RASIFAR, M. (2011).** Allelopathic effect of harmel (*Peganum harmala* L.) on germination and growth of three weeds. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 27(1):135-145.
- TAHROUCH, S., RAPIOR, S., MONDOLOT-COSSON, L., IDRISSE, H., BESSIERE, J. M. ET ANDARY, C. (2002).** *Peganum harmala*: source combinée d'arômes et de colorants. Rev. Biol .Biotech. (2) : 33-37
- TAÏBI, A-N et EL HANNANI, M. (2004).** Identification et suivi des processus de la dégradation du milieu dans le bassin de l'oued dadès (maroc) par télédétection satellitaire et aérienne. Télédétection. 4(1) : 63–73
- TAIZ, L. and ZEIGER, E. (2003).** Plant Physiology, 3rd ed. Ed. Annals of Botany Company. 690 p. ISBN: 0878938230.
- TANG, J., CAMBERATO, J. J., YU, X., LUO, N., BIAN, S. and JIANG, Y. (2013).** Growth response, carbohydrate and ion accumulation of diverse perennial ryegrass accessions to increasing salinity. Scientia Horticulturae. 154: 73–81
- TAYLOR, R.S.L; EDEL, F ; MANANDHAR, N.P. AND TOWERS, G.H.N. (1996).** Antimicrobial activity of southern Nepales medicinal plants. J. Ethnopharmacol . 50:97-102

- TELEZHENETSKAYA, M. V., KHASHTRMOV, Kho, N. and YUNUSOV, S. Y. (1971).** Peganol a new alkaloid from *Peganum harmala*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*, No. 6 : 849-850.
- TOLIBAEV, I., MUKHAMEDOVA, Kh. S. and GLUSHENKOVA, .A. I. (1992).** Lipid complex of *Peganum harmala*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*, No. 6: 625-627.
- TROLL W., LINDSLEY J. (1955).** A photometric method for the determination of proline. *J Biol Chem*, 215: 655-660.
- TURK, M.A. and TAWAHA, A.M. (2003).** Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). *Crop Protection*. 22 (4): 673-677. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00241-7](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00241-7) Get rights and content
- UNESCO. (1985).** Projet intégré sur les zones arides (IPAL) - Résultats et Recommandations du projet. N° de série : FMR/SC/ECO/85/233(PNUE). Diffusion restreinte, Programme des Nations Unies pour l'environnement, FP/1101-78-01/TUNISIE, Paris, Rapport final. 147p
- VALLES, V., BOURGEAT, F. et GUIRESSE, M. (1988).** Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés - Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. Laboratoire de Pédologie/Aménagement E.N.S.A.T., 145, av. de Muret, 31076 Toulouse Cédex. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXIV (2) : 115-122
- WEBER, D.J., ANSARIB, R., GULB, B. and KHAN, A. M. (2007).** Potential of halophytes as source of edible oil, Ed. elsevier. *Journal of Arid Environments* 68 : 315–321
- WILKINSON, S. and DAVIES, W.J. (2002).** ABA-Based chemical signaling: the coordination of responses to stress in plant. Ed. *Plant, Cell and Environment*. 25:195-210.
- Wu. C, Xi-Ling J., Hong-Wu S., Ai-Ming Y. (2009).** Effects of CYP2D6 status on harmaline metabolism, pharmacokinetics and pharmacodynamics, and a pharmacogenetics-based pharmacokinetic model. *Biochem Pharmacol*, 78(6):617-24. DOI: [10.1016/j.bcp.2009.05.011](https://doi.org/10.1016/j.bcp.2009.05.011)
- XIAN-GUO, H and URSULA, M. (1994).** Antifungal compound for *Solanum nigreacens*. *Journals of Ethanopharmacology*., 43 :173-177.
- YENSEN, N. P. (2008).** Halophyte uses for the twenty-first century, *in*. *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Ed. Springer. the Netherlands. KHAN. A.M and DARRELL. J. WEBER(edits).pp367-396.
- YOKOI, S., BRESSAN, R.A. and HASEGAWA, P. M. (2002).** Salt Stress Tolerance of Plants. *JIRCAS Working Report*. 25-33
- ZAHEER, A. M. and KHAN, A. M. (2010).** Tolerance and recovery responses of playa halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination. *Flora* 205: 764–771
- ZHANG, L., TENG, L., GONG, C., LUI, W., CHENG, X., GU, S., DENG, Z., WANG, Z. and WANG, C. (2013).** Simultaneous determination of harmine, harmaline and their metabolites harmol and harmalol in beagle dog plasma by UPLC-ESI-MS/MS and its application to a pharmacokinetic study. *J Pharm Biomed Anal*: 85:162-8. doi: [10.1016/j.jpba.2013.07.019](https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.07.019). Epub 2013 Jul 26

ZHAREKEEV, B. Kh., KHASHIMOV, Kh. N., TELEZHENETSKAYA, M. V., and YUNUSOV, S. Yu. (1974): New alkaloids from *Peganum harmala*. Khimiya Prirodnikh Soedinenii, No. 2: 264-265.

ZIA, S. and KHAN, A. M. (2002). Comparative effect of NaCl and seawater on seed germination of *Limonium stocksii*. Pak. J. Bot., 34(4): 345-350.

ZIDANE-DJERROUDI, O. (2017). Caractérisation morpho-physiologique d'une halophyte, atriplex, aux conditions arides. These Doc. Université d'Oran. 80p

Les références arabes

أبي الفداء محمد عزت محمد عارف، 1997م، ال1000 وصفة ذهبية في العلاج بالأعشاب الطبية كنز من كنوز الطب العربي، دار النصر، 151ص

أحمد عيسى بك، 1930، معجم اسماء النبات، الطبعة أولى، المطبعة الأميرية، القاهرة، 295 ص

أرمناك بديقيان، 2006، المعجم المصور لأسماء النباتات، مكتبة مدبولي- القاهرة، 409 ص

بطيحي سارة، 2014، السمية الحادة والشبه الحادة لقلويدات بذور نبتة الحرمل. مذكرة ماجستير. جامعة فرحات عباس. سطيف. 58 صفحة.

تركي الحسيني، 2003، تأثير بعض مستخلصات بذور الحرمل في بعض جوانب الأداء الحياتي لخنفساء الحبوب الشعيرية (الخابرا) *Trogoderma granarium Everts* كلية العلوم، جامعة الكوفة

حامد رباح التكروري، سلمى خليل طوقان، موسى نعمان أحمد، 2008، النباتات الطبية والنباتات البرية المستعملة في الغذاء عند مجتمع البادية الأردنية الشمالية، المجلة الأردنية في العلوم الزراعية، العدد 4، المجلد 4.

حسن عبد القادر حسن البار : (2000) المكونات الكيميائية في نباتات جنسي البيجانم والنيتراريا . الجزء الثاني .جامعة الملك عبد العزيز . السعودية. (الجزء الثاني).

حليمي عبد القادر، 1997، النباتات الطبية في الجزائر

رامز مهدي صالح الأسدي، 2008، دراسة تأثير مستخلصات نباتي الأراك و الحرمل في تثبيط نمو الفطر *Mauginiella scaettae* مخبريا ، مجلة البصرة لأبحاث نخل التمر، مجلد 7 ، العدد 1: 32-40 .

رياض رمضان العلمي، 1978، الدواء من فجر التاريخ إلى اليوم. عالم المعرفة، رقم121. الكويت. 285 ص

سعدية ياسر عوفي، سجي مهدي جابر، زاهدة ميران عبد الحسين، 2007 : تأثير المستخلصات المائية والكحولية لنباتات الاس والحرمل والسمحاق في بعض أنواع البكتيريا المعوية و بكتيريا *Pseudomonas aeruginosa*.

سمير اسماعيل الحلو، 1999، القاموس الجديد للنباتات الطبية، الطبعة الأولى، دار المنارة، جدة، 102 ص

سناء نجم الحديدي. 2013. تأثير المستخلصات المائية و مستخلص الإيثانول لنباتي السبجح *Meliaa zedarach L.* و الحرمل *Peganum harmala L.* في هلاك شغالات النمل (*Aphaenogastermus chtidica* Emery Hymenoptera : Formicidae) . مجلة ديالي للعلوم الزراعية 5(2) : 418 – 425 .

صالح حسن جازع، 2012، التأثير التثبيطي لمستخلصين المائي والكحولي لأوراق نباتي الحرمل *Peganum* وعين البزون في البكتيريا *Staphylococcus aureus*، كلية العلوم، جامعة ميسان .

عبد الباسط محمد السيد و عبد الله التواب عبد الله حسين، 2010م، الموسوعة الأم للعلاج بالأعشاب و النباتات الطبية، الطبعة 4، دار ألفا.

Liste des références bibliographiques

- عبد الجبار عبد الحميد الخزبي، كلبوي عبد المجيد، أمير خضير عباس، سهيلة غفوري، مؤيد عبد الصاحب تويج، 2013، التأثير التثبيطي للمستخلص المائي لبذور الحرمل في نمو بعض أنواع البكتيريا المرضية، مجلة العلوم الزراعية العراقية، كلية الزراعة، جامعة بغداد
- عبد الله همام عبد الهادي، محمد صالح خصر وعطيات أبو بكر عبد العاطي. 2009. أعراض نقص العناصر الغذائية على بعض المحاصيل الحقلية والبستانية. معهد بحوث الأراضي والمياه والبيئة، معهد البوتاسيوم الدولي سويسرا. 57 صفحة
- فوزية أحمد الشنوي، 2009، تأثير مزيج من مستخلص بذور الحرمل وأوراق نبات الشيح ضد الأميبا الحالة لنسيج *Entamoeba histolytica* في الزجاج، المجلة العراقية.
- فيصل بن محمد العراقي، 1413 هـ (الموافق 1992 م) ، الأعشاب دواء لكل داء، الطبعة 1 .
- محمود صالح سراج علي و يونس محمد الحسن: 1423 هـ (الموافق 1930 م) - تأثير استزراع النباتات الطبية البرية على خواصها الكيميائية والحيوية. التقرير النهائي. جامعة الملك فيصل. المملكة العربية السعودية
- نادية الدقاق، 2006، موسوعة الأعشاب، الطبعة 1، دار الوفاء، الإسكندرية، 279ص.

Les sites web

<http://www.theplantlist.org/tp1.1/record/kew-2548698> date 2-11- 2014

ANNEXES

ANNEXE 01

Tableau d'analyse de variance de proline

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	4868.856	11	442.623		
Var.FACTEUR 1	4525.428	3	1508.476	35.139	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	343.427	8	42.928		

Tableau d'analyse de variance de sucre

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	303.569	11	27.597		
Var.FACTEUR 1	92.246	3	30.749	1.164	0.382
VAR.RESIDUELLE 1	211.324	8	26.415		

Tableau d'analyse de variance de matière sèche

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	32.195	11	2.927		
Var.FACTEUR 1	9.632	3	3.211	1.138	0.391
VAR.RESIDUELLE 1	22.563	8	2.820		

ANNEXE 02

Analyse de corrélation entre les alcaloïdes et la composition minéral du sol et des végétaux

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (unilatéral).

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (unilatéral).

g : graine ; **f** : feuille, **fl** : fleur, **t** : tige

alc.tot : alcaloïde total

g.alc : alcaloïde des graines **f.alc** : alcaloïde des feuilles

fl.alc : alcaloïde des fleurs **t.alc** : alcaloïde des tiges

Résultats positives

	g.Fe	sol.Fe	alc.tot	fl.Na/Mg	f.Na/Mg	g.K/Na	fl.alc	g.Cl	g.Mg	g.K	g.Ca	t.alc	g.s	g.alc
alc.tot	0.68	0.875	1	0.882	0.883	0.8	,929*	,908*	,917*	0.58	0.541	0.395	0.632	0.365
g.alc	0.608	0.279	0.365	0.288	0.282	0.803	0.536	0.564	0.36	,953*	,942*	,961*	,950*	1
f.alc	0.113	0.499	0.803	0.506	0.512	0.321	0.526	0.787	,908*	0.241	0.248	-0.143	0.236	-0.063
FL.alc	,903*	,950*	,929*	,954*	,953*	,933*	1	0.794	0.738	0.655	0.593	0.635	0.736	0.536
T.alc	0.777	0.439	0.395	0.444	0.438	0.864	0.635	0.487	0.278	0.881	0.845	1	,914*	,961*

Résultats négatives

	t.Na/Mg	t.Na/K	t.Na	sol.Cl	g.Na/Mg	g.Na/Cl	f.Mg	fl.Fe	t.K	t.s	fl.Mg	t.Na/Cl	g.Na/Ca	g.Na/K
alc.tot	-0.629	-0.736	-0.757	-0.519	-,917*	-,973*	-,988**	-,914*	-,925*	-0.864	-0.785	-0.796	-0.559	-0.509
g.alc	0.335	-0.05	-0.155	0.254	-0.137	-0.477	-0.22	-0.256	-0.691	-0.78	-0.672	-0.813	-,956*	-,962*
f.alc	-,959*	-,971*	-,951*	-,923*	-,972*	-0.818	-0.87	-0.584	-0.599	-0.473	-0.261	-0.32	-0.055	0.009
FL.alc	-0.309	-0.442	-0.482	-0.166	-0.705	-0.874	-0.873	-,952*	-,938*	-,928*	-,957*	-,927*	-0.747	-0.714
T.alc	0.416	0.088	-0.011	0.406	-0.084	-0.448	-0.247	-0.396	-0.698	-0.797	-0.799	-0.869	-,980**	-,991**

ANNEXE 03

Analyse de corrélation entre la matière sèches, le sucre, la proline et la composition minéral du sol et des végétaux

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (unilatéral).

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (unilatéral).

g : graine ; **f** : feuille, **fl** : fleur, **t** : tige

Ms : matière sèche

Sc : sucre

Pr : proline

la matière sèches, le sucre

	sol.Mg	sol.s	f.Na/Ca	f.Na/K	f.Cl	FL.Cl	T.Cl	f.Na/Cl	T.Ca	f.Ca	T.Fe	g.Fe	f.K	f.K/Na	fl.K/Na	FL.Ca
MS	-0.949	-0.906	-0.928	-0.903	-0.907	-0.95	-0.918	0,978*	0,914*	0,989**	0,999**	-0.919	0.709	0.783	0.791	0.784
Sc	-0.987	-0.978	-0.918	-0.993	-0.903	-0.979	-0.976	0,969*	0,976*	0,941*	0,909*	-0.765	0,947*	0,965*	0,942*	0,970*

la proline

	sol.Na	g.K	g.Ca	f.Na/S	fl.Na/S
Pr	-0.993	0,921*	0,951*	0,926*	0,901*

ANNEXE 04

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (unilatéral). ** La corrélation est significative au niveau 0.01 (unilatéral).

Analyse de corrélation entre la composition minérale du sol et des végétaux

(Résultats positifs) 1/2

	FL.K	f.Na/K	T.Cl	FL.Cl	fl.Na/Mg	g.P	f.Na/Mg	FL.Na/K	FL.Na/Cl	T.Na/S	f.S	FL.p	FL.Na
sol.Ca	,998**	-0.538	-0.449	-0.455	-0.588	-0.716	-0.59	-0.696	-0.746	-0.64	-0.806	-0.641	-0.681
sol.Cl	-0.147	0.812	0.844	0.793	-0.14	-0.006	-0.147	0.253	0.009	0.209	0.024	0.277	0.293
sol.Fe	-0.639	0.465	0.42	0.496	1,000**	,984**	1,000**	,922*	,975*	,941*	,953*	,915*	,907*
sol.K	-0.452	-0.475	-0.561	-0.537	0.261	0.245	0.268	0.011	0.259	0	0.301	-0.054	-0.033
sol.Na	-0.814	0.21	0.121	0.085	0.092	0.241	0.095	0.207	0.283	0.131	0.372	0.136	0.19
sol.Mg	-0.608	,978*	,967*	,983**	0.629	0.727	0.625	0.881	0.733	0.859	0.731	0.892	,900*
sol.s	-0.492	,996**	1,000**	,993**	0.401	0.52	0.395	0.724	0.53	0.692	0.535	0.741	0.753

(Résultats positifs) 2/2

	FL.Na/Ca	f.Cl	f.Na	sol.S	f.Na/Ca	g.Na	sol.Mg	T.Na/Mg	T.Na/Ca	T.Na/K	T.Na
sol.Ca	-0.687	-0.654	-0.67	-0.466	-0.626	,923*	-0.574	0.136	-0.37	-0.176	-0.238
sol.Cl	0.345	0.407	0.372	0.85	0.45	-0.26	0.68	,960*	,971*	,944*	,909*
sol.Fe	0.882	0.851	0.869	0.409	0.825	-0.802	0.636	-0.343	-0.015	-0.349	-0.36
sol.K	-0.067	-0.14	-0.101	-0.55	-0.194	-0.231	-0.383	-0.879	-0.593	-0.611	-0.524
sol.Na	0.206	0.172	0.186	0.149	0.145	-0.581	0.165	-0.126	0.295	0.282	0.376
sol.Mg	,922*	,946*	,933*	,964*	,960*	-0.809	1	0.489	0.75	0.484	0.451
sol.s	0.788	0.827	0.805	1	0.852	-0.676	,964*	0.698	0.891	0.69	0.654

(Résultats négatifs)

	f.K/Na	FL.K/Na	T.Ca	T.Fe	f.K	f.Ca	f.Na/Cl	FL.Ca	FL.Fe	g.Ca	FL.Na/s	f.Na/s	f.Fe
sol.Ca	0.809	0.831	0.674	0.341	0.711	0.366	0.468	0.794	0.567	0.551	0.746	0.766	0.414
sol.Cl	-0.607	-0.502	-0.586	-0.642	-0.789	-0.723	-0.703	-0.639	0.232	-0.084	-0.483	-0.428	0.785
sol.Fe	-0.615	-0.719	-0.717	-0.63	-0.35	-0.562	-0.605	-0.583	,995**	0.314	0.057	0.039	-0.188
sol.K	0.119	0.039	0.244	0.535	0.275	0.565	0.48	0.149	-0.33	-0.476	-0.176	-0.238	,997**
sol.Na	-0.496	-0.472	-0.255	0.125	-0.517	0.06	-0.044	-0.492	-0.086	,910*	,904*	,929*	-0.558
sol.Mg	,938*	,932*	,989**	,958*	-0.885	,972*	,992**	,939*	-0.555	0.139	-0.359	-0.33	0.455
sol.s	-0.895	-0.852	,923*	,919*	,922*	,959*	,967*	,907*	-0.315	0.066	-0.436	-0.395	0.609

Annexe 06

Tableau d'analyse de la variance de R (Alterneraï *sp*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	2504,873	71	35,280		
Var.FACTEUR 1	816,649	3	272,216	45,315	0,000
Var.FACTEUR 2	49,410	2	24,705	4,113	0,024
Var.FACTEUR 3	1128,004	2	564,002	93,887	0,000
Var.INTER F1*2	31,734	6	5,289	0,880	0,520
Var.INTER F1*3	177,167	6	29,528	4,915	0,001
Var.INTER F2*3	22,169	4	5,542	0,923	0,463
Var.INTER F1*2*3	63,479	12	5,290	0,881	0,574
VAR.RESIDUELLE 1	216,260	36	6,007		

Tableau des résultats d'interaction f1*f3 = organe * concent

		SITES			
		1(S)	2(D)	3(N)	4(B)
concentration	conc	14.217	15.083	15.633	11.783
		0.574	1.573	1.695	0.655
		A	A	A	AB
	5%	3.508	12.033	9.375	1.200
		4.642	1.447	0.939	2.182
		C	AB	B	C
	10%	1.383	10.000	9.333	0.067
		2.498	0.929	0.866	0.045
		C	B	B	C

Annexe 07

Tableau d'analyse de la variance de Af (*Aspergillus flavus*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1690,850	71	23,815		
Var.FACTEUR 1	211,619	3	70,540	13,550	0,000
Var.FACTEUR 2	14,891	2	7,446	1,430	0,252
Var.FACTEUR 3	255,326	2	127,663	24,523	0,000
Var.INTER F1*2	325,923	6	54,321	10,435	0,000
Var.INTER F1*3	143,364	6	23,894	4,590	0,002
Var.INTER F2*3	158,380	4	39,595	7,606	0,000
Var.INTER F1*2*3	393,937	12	32,828	6,306	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	187,410	36	5,206		

Tableau des résultats d'interaction F1*2*3 : region * organe * concent

Facteur 2(organe)	Graine			Feuille			Fleur		
	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10
1(S)	15,250	10,250	9,450	11,550	11,125	9,375	22,000	3,800	10,475
	0,354	1,061	1,768	0,071	0,177	0,106	1,414	5,233	1,591
	BC	CDE	CDE	BCDE	BCDE	CDE	A	EF	CDE
2(D)	11,300	4,575	8,650	12,600	11,500	10,925	19,175	12,350	11,625
	0,000	6,470	1,131	2,263	0,707	0,106	4,702	1,909	0,672
	BCDE	DE	CDE	BCDE	BCDE	BCDE	AB	BCDE	BCDE
3(N)	13,125	10,750	13,150	9,975	9,650	9,550	22,825	11,250	9,000
	2,015	1,061	3,606	0,530	0,495	1,344	1,662	0,354	1,414
	BCD	BCDE	BCD	CDE	CDE	CDE	A	BCDE	CDE
4(B)	10,450	9,325	4,950	11,200	11,650	10,425	0,000	0,100	11,850
	0,636	0,460	6,859	0,071	0,495	1,591	0,000	0,000	0,495
	CDE	CDE	DEF	BCDE	BCDE	CDE	F	F	BCDE

Annexe 08

Tableau d'analyse de la variance de J (*Aspergillus sp*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	973,022	71	13,705		
Var.FACTEUR 1	77,447	3	25,816	10,017	0,000
Var.FACTEUR 2	42,937	2	21,468	8,330	0,001
Var.FACTEUR 3	84,535	2	42,268	16,400	0,000
Var.INTER F1*2	239,709	6	39,951	15,502	0,000
Var.INTER F1*3	41,449	6	6,908	2,680	0,030
Var.INTER F2*3	56,388	4	14,097	5,470	0,002
Var.INTER F1*2*3	337,778	12	28,148	10,922	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	92,780	36	2,577		

Tableau des résultats d'interaction F1*2*3 : region * organe * concent

Facteur 2(organe)	Graine			Feuille			Fleur		
	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10
1(S)	13,500	11,750	10,650	8,250	12,500	10,000	16,850	11,000	9,250
	0,707	0,354	1,909	0,354	0,707	0,000	4,738	1,414	0,354
	CDE	CDE	DE	E	CDE	DE	BC	DE	DE
2(D)	10,250	13,800	8,750	10,250	9,875	10,325	22,750	11,975	10,250
	1,768	2,758	0,354	0,354	4,066	2,369	1,061	1,025	1,061
	DE	CDE	DE	DE	DE	DE	A	CDE	DE
3(N)	12,500	9,750	9,000	8,750	10,100	10,500	18,250	11,750	11,250
	0,707	0,354	1,414	1,061	1,980	0,707	0,354	2,475	0,354
	CDE	DE	DE	DE	DE	DE	B	CDE	CDE
4(B)	15,000	12,250	10,000	12,000	9,250	7,775	0,100	8,500	8,850
	1,414	0,354	1,414	0,707	0,354	0,672	0,000	2,121	1,626
	BCD	CDE	DE	CDE	DE	E	F	CDE	CDE

Annexe 09

Analyse de V (*Penicillium sp*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1397,207	71	19,679		
Var.FACTEUR 1	99,327	3	33,109	13,285	0,000
Var.FACTEUR 2	116,828	2	58,414	23,439	0,000
Var.FACTEUR 3	438,539	2	219,269	87,983	0,000
Var.INTER F1*2	55,911	6	9,318	3,739	0,005
Var.INTER F1*3	125,056	6	20,843	8,363	0,000
Var.INTER F2*3	228,356	4	57,089	22,907	0,000
Var.INTER F1*2*3	243,471	12	20,289	8,141	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	89,719	36	2,492		

Tableau des résultats d'interaction F1*2*3 : region * organe * concent

Facteur 2(organe)	Graine			Feuille			Fleur		
	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10
1(S)	13,250	8,275	4,050	9,250	8,650	8,250	19,500	3,050	8,325
	1,768	0,035	5,586	0,354	0,212	0,354	0,707	4,172	0,460
	B	BCDE	DE	BCDE	BCDE	BCDE	A	EF	BCDE
2(D)	11,500	9,000	8,500	10,500	8,000	7,500	23,000	8,475	7,750
	2,121	2,828	0,707	0,707	1,414	0,707	1,414	0,318	0,354
	BC	BCDE	BCDE	BC	BCDE	BCDE	A	BCDE	BCDE
3(N)	11,250	7,500	7,500	9,500	9,000	6,750	21,250	8,500	8,750
	0,354	0,707	0,707	2,121	1,414	0,354	1,768	1,414	1,768
	BC	BCDE	BCDE	BCD	BCDE	CDE	A	BCDE	BCDE
4(B)	7,250	9,500	9,250	9,250	8,250	0,000	7,000	7,750	8,250
	0,354	0,000	0,354	1,061	0,354	0,000	0,000	1,061	0,354
	BCDE	BCD	BCDE	BCDE	BCDE	F	BCDE	BCDE	BCDE

Annexe 10

Tableau d'analyse de la variance de Ao (*Aspergillus ochraceus*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1373,530	71	19,345		
Var.FACTEUR 1	100,284	3	33,428	5,361	0,004
Var.FACTEUR 2	92,759	2	46,379	7,438	0,002
Var.FACTEUR 3	417,150	2	208,575	33,448	0,000
Var.INTER F1*2	162,870	6	27,145	4,353	0,002
Var.INTER F1*3	50,548	6	8,425	1,351	0,260
Var.INTER F2*3	198,917	4	49,729	7,975	0,000
Var.INTER F1*2*3	126,515	12	10,543	1,691	0,110
VAR.RESIDUELLE 1	224,486	36	6,236		

Tableau des résultats d'interaction f1*2 = region * organe

		SITES			
		1(S)	2(D)	3(N)	4(B)
ORGANES	Graine	16,333	12,133	13,000	9,100
		2,529	1,492	1,323	3,580
		A	AB	AB	B
	Feuille	10,000	10,667	10,083	10,550
		1,304	0,387	1,275	1,241
		B	B	B	B
	Fleur	12,000	12,667	16,108	10,483
		0,742	2,872	1,585	2,320
		AB	AB	A	B

Tableau des résultats d'interaction F2*3 : organe * concent

		CONCENTRATION		
		Con	1/5	1/10
ORGANES	Graine	17,350	11,338	9,238
		2,533	1,399	2,862
		A	B	B
	Feuille	10,225	11,250	9,500
		1,040	0,866	1,323
		B	B	B
	Fleur	17,856	11,263	9,325
		2,319	2,312	1,097
		A	B	B

Annexe 11

Tableau d'analyse de la variance de Ac (*Aspergillus carbonarius*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1427,512	71	20,106		
Var.FACTEUR 1	90,518	3	30,173	5,375	0,004
Var.FACTEUR 2	235,105	2	117,552	20,940	0,000
Var.FACTEUR 3	434,380	2	217,190	38,688	0,000
Var.INTER F1*2	130,230	6	21,705	3,866	0,005
Var.INTER F1*3	63,672	6	10,612	1,890	0,109
Var.INTER F2*3	170,447	4	42,612	7,590	0,000
Var.INTER F1*2*3	101,063	12	8,422	1,500	0,169
VAR.RESIDUELLE 1	202,099	36	5,614		

Tableau des résultats d'interaction f1*2 = region * organe

		SITES			
		1(S)	2(D)	3(N)	4(B)
ORGANES	Graine	14,750	13,583	10,925	12,625
		1,194	1,492	1,960	2,146
		AB	AB	BC	ABC
	Feuille	11,500	6,442	9,050	8,650
		1,204	2,385	0,406	1,180
		ABC	D	CD	CD
	Fleur	13,033	10,500	15,500	10,833
		1,172	3,956	1,245	1,025
		ABC	BC	A	BC

Tableau des résultats d'interaction F2*3 : organe * concent

		CONCENTRATION		
		Con	1/5	1/10
ORGANES	Graine	17,669	11,056	10,188
		2,432	1,487	0,720
		A	B	B
	Feuille	9,344	9,675	7,713
		0,585	0,917	2,243
		B	B	B
	Fleur	17,625	9,900	9,875
		2,179	2,735	1,336
		A	B	B

Annexe 12

Tableau d'analyse de la variance de BC (*Bacillus cereus*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	962,529	70	13,750		
Var.FACTEUR 1	203,864	3	67,955	9,106	0,000
Var.FACTEUR 2	73,290	2	36,645	4,910	0,013
Var.FACTEUR 3	192,816	2	96,408	12,919	0,000
Var.INTER F1*2	92,883	6	15,481	2,074	0,081
Var.INTER F1*3	43,894	6	7,316	0,980	0,454
Var.INTER F2*3	10,157	4	2,539	0,340	0,850
Var.INTER F1*2*3	84,430	12	7,036	0,943	0,518
VAR.RESIDUELLE 1	261,195	35	7,463		

Tableau d'analyse de la variance de PA (*Pseudomonas aeruginosa*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	5422,518	71	76,373		
Var.FACTEUR 1	337,838	3	112,613	2,976	0,044
Var.FACTEUR 2	225,667	2	112,834	2,982	0,062
Var.FACTEUR 3	2401,934	2	1200,967	31,737	0,000
Var.INTER F1*2	497,874	6	82,979	2,193	0,066
Var.INTER F1*3	257,832	6	42,972	1,136	0,362
Var.INTER F2*3	57,990	4	14,498	0,383	0,821
Var.INTER F1*2*3	281,110	12	23,426	0,619	0,812
VAR.RESIDUELLE 1	1362,273	36	37,841		

Tableau d'analyse de la variance de MC (*Micrococcus luteus*)

5	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1464,983	71	20,634		
Var.FACTEUR 1	23,158	3	7,719	2,425	0,080
Var.FACTEUR 2	134,925	2	67,463	21,193	0,000
Var.FACTEUR 3	682,113	2	341,056	107,143	0,000
Var.INTER F1*2	342,866	6	57,144	17,952	0,000
Var.INTER F1*3	96,264	6	16,044	5,040	0,001
Var.INTER F2*3	12,578	4	3,145	0,988	0,428
Var.INTER F1*2*3	58,483	12	4,874	1,531	0,158
VAR.RESIDUELLE 1	114,595	36	3,183		

Tableau des résultats d'interaction f1*f2 = région * organe

		SITES			
		1(S)	2(D)	3(N)	4(B)
ORGANES	Graine	12,542	10,200	10,758	9,233
		2,155	0,493	0,168	1,918
		B	BCD	BC	BCD
	Feuille	7,558	10,600	4,517	11,133
		0,417	1,629	0,538	2,295
		D	BC	E	B
	Fleur	11,842	11,950	15,250	7,900
		2,133	0,984	0,607	0,224
		B	B	A	CD

Annexe 13

Tableau d'analyse de la variance de SM (*Salmonella typhi*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1560,980	71	21,986		
Var.FACTEUR 1	349,537	3	116,512	34,986	0,000
Var.FACTEUR 2	46,641	2	23,320	7,003	0,003
Var.FACTEUR 3	600,563	2	300,282	90,167	0,000
Var.INTER F1*2	206,973	6	34,495	10,358	0,000
Var.INTER F1*3	99,853	6	16,642	4,997	0,001
Var.INTER F2*3	25,078	4	6,270	1,883	0,134
Var.INTER F1*2*3	112,445	12	9,370	2,814	0,008
VAR.RESIDUELLE 1	119,890	36	3,330		

Tableau des résultats d'interaction INTER F1*2*3 : region * organe * concent

Facteur 2(organe)	Graine			Feuille			Fleur		
	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10
1(S)	10,500	3,750	0,000	10,750	0,000	0,000	11,750	8,500	0,000
	0,707	5,303	0,000	0,354	0,000	0,000	0,354	0,000	0,000
	ABC	CD	D	ABC	D	D	A	ABC	D
2(D)	10,500	3,750	0,000	10,750	0,000	0,000	11,750	8,500	0,000
	0,707	5,303	0,000	0,354	0,000	0,000	0,354	0,000	0,000
	ABC	CD	D	ABC	D	D	A	ABC	D
3(N)	11,500	9,000	8,000	10,750	8,000	0,00	13,500	9,750	9,250
	0,707	1,414	0,000	1,061	0,000	0,000	0,000	1,061	0,354
	AB	ABC	ABC	ABC	ABC	D	A	ABC	ABC
4(B)	12,750	8,900	4,000	9,400	8,750	0,00	4,500	0,00	0,00
	1,061	0,566	5,657	0,849	0,354	0,000	6,364	0,000	0,000
	A	ABC	CD	ABC	ABC	D	BCD	D	D

Annexe 14

Tableau d'analyse de la variance de SA (*Staphylococcus aureus*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1213,658	71	17,094		
Var.FACTEUR 1	86,849	3	28,950	5,169	0,005
Var.FACTEUR 2	30,039	2	15,019	2,682	0,080
Var.FACTEUR 3	491,544	2	245,772	43,883	0,000
Var.INTER F1*2	173,594	6	28,932	5,166	0,001
Var.INTER F1*3	53,202	6	8,867	1,583	0,180
Var.INTER F2*3	120,781	4	30,195	5,391	0,002
Var.INTER F1*2*3	56,031	12	4,669	0,834	0,617
VAR.RESIDUELLE 1	201,620	36	5,601		

Tableau des résultats d'interaction f1*f2 = région * organe

		SITES			
		1(S)	2(D)	3(N)	4(B)
ORGANES	Graine	11,250	7,117	12,167	5,450
		0,652	3,647	0,548	0,570
		AB	BC	A	C
	Feuille	5,517	8,167	7,917	8,333
		3,397	0,000	0,652	0,775
		C	ABC	ABC	ABC
	Fleur	7,183	9,167	9,000	6,000
		2,182	0,548	1,830	2,236
		BC	ABC	ABC	C

Tableau des résultats d'interaction f1*f3 = organe * concent

		CO NCENTRATION		
		Con	1/5	1/10
ORGANES	Graine	15,063	7,263	4,663
		0,720	2,281	2,128
		A	BC	C
	Feuille	10,063	6,950	5,750
		0,655	2,166	1,964
		B	BC	C
	Fleur	9,750	7,750	5,700
		1,518	0,378	2,671
		B	BC	C

Annexe 15

Tableau d'analyse de la variance de C10 (*Candida albicans*)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	831,470	71	11,711		
Var.FACTEUR 1	99,770	3	33,257	14,116	0,000
Var.FACTEUR 2	36,340	2	18,170	7,713	0,002
Var.FACTEUR 3	235,733	2	117,866	50,030	0,000
Var.INTER F1*2	220,370	6	36,728	15,590	0,000
Var.INTER F1*3	42,411	6	7,069	3,000	0,018
Var.INTER F2*3	25,166	4	6,292	2,671	0,047
Var.INTER F1*2*3	86,867	12	7,239	3,073	0,005
VAR.RESIDUELLE 1	84,813	36	2,356		

Tableau des résultats d'interaction F1*2*3 : region * organe * concent

Facteur 2(organe)	Graine			Feuille			Fleur		
	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10	Con	1/5	1/10
1(S)	13,700	10,000	8,750	7,350	7,500	3,300	9,675	8,250	7,675
	0,849	1,414	1,061	1,202	0,707	4,525	0,955	0,354	0,955
	AB	ABCD	BCDE	CDE	CDE	EF	ABCD	BCDE	BCDE
2(D)	14,700	9,700	8,450	11,250	8,100	9,850	10,250	8,800	8,750
	2,404	0,000	0,212	2,475	0,566	0,495	1,485	1,697	1,485
	A	ABCD	BCDE	ABCD	BCDE	ABCD	ABC	BCDE	BCDE
3(N)	9,925	9,150	0,100	10,000	7,700	3,900	11,500	9,175	9,325
	1,308	1,202	0,000	0,000	0,707	5,374	0,707	1,167	0,955
	ABCD	ABCD	F	ABCD	BCDE	DEF	ABC	ABCD	ABCD
4(B)	10,750	8,000	7,850	10,000	8,375	7,000	8,500	0,000	0,000
	0,636	0,707	0,212	0,707	0,177	0,000	0,000	0,000	0,000
	ABC	BCDE	BCDE	ABCD	BCDE	CDE	BCDE	F	F

ANNEXE 16

Tableau d'analyse de la variance de germination des graines de blé

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	39061,111	71	550,156		
Var. FACTEUR 1	1605,556	1	1605,556	3,959	0,050
Var. FACTEUR 2	3038,889	3	1012,963	2,498	0,070
Var. FACTEUR 3	12411,111	2	6205,556	15,301	0,000
Var. INTER F1*2	1172,222	3	390,741	0,963	0,419
Var. INTER F1*3	211,111	2	105,556	0,260	0,775
Var. INTER F2*3	344,444	6	57,407	0,142	0,988
Var. INTER F1*2*3	811,111	6	135,185	0,333	0,916
VAR.RESIDUELLE 1	19466,667	48	405,556		

Tableau d'analyse de variance de germination des graines de brome

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	140600,000	71	1980,282		
Var. FACTEUR 1	88,889	1	88,889	0,062	0,799
Var. FACTEUR 2	22644,444	3	7548,148	5,307	0,003
Var. FACTEUR 3	27233,333	2	13616,667	9,574	0,000
Var. INTER F1*2	3111,111	3	1037,037	0,729	0,543
Var. INTER F1*3	1744,444	2	872,222	0,613	0,551
Var. INTER F2*3	13922,222	6	2320,370	1,632	0,158
Var. INTER F1*2*3	3588,889	6	598,148	0,421	0,862
VAR.RESIDUELLE 1	68266,667	48	1422,222		

Tableau d'analyse de variance de germination des graines de coriginia

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	2200,000	70	31,429		
Var. FACTEUR 1	22,222	1	22,222	0,979	0,329
Var. FACTEUR 2	244,444	3	81,481	3,590	0,020
Var. FACTEUR 3	33,333	2	16,667	0,734	0,489
Var. INTER F1*2	66,667	3	22,222	0,979	0,412
Var. INTER F1*3	77,778	2	38,889	1,714	0,189
Var. INTER F2*3	188,889	6	31,481	1,387	0,239
Var. INTER F1*2*3	500,000	6	83,333	3,672	0,005
VAR.RESIDUELLE 1	1066,667	47	22,695		

Tableau d'analyse de variance de germination des graines de l'ive

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	31000,000	71	436,620		
Var. FACTEUR 1	0,000	1	0,000	0,000	0,990
Var. FACTEUR 2	5400,000	3	1800,000	7,714	0,000
Var. FACTEUR 3	3600,000	2	1800,000	7,714	0,001
Var. INTER F1*2	0,000	3	0,000	0,000	0,990
Var. INTER F1*3	0,000	2	0,000	0,000	0,990
Var. INTER F2*3	10800,000	6	1800,000	7,714	0,000
Var. INTER F1*2*3	0,000	6	0,000	0,000	0,990
VAR.RESIDUELLE 1	11200,000	48	233,333		

Tableau d'Analyse de variance de germination des graines de l'avoine

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	129044,444	71	1817,527		
Var. FACTEUR 1	200,000	1	200,000	0,692	0,414
Var. FACTEUR 2	2422,222	3	807,407	2,795	0,049
Var. FACTEUR 3	106711,111	2	53355,556	184,692	0,000
Var. INTER F1*2	200,000	3	66,667	0,231	0,875
Var. INTER F1*3	400,000	2	200,000	0,692	0,510
Var. INTER F2*3	4844,444	6	807,407	2,795	0,021
Var. INTER F1*2*3	400,000	6	66,667	0,231	0,963
VAR.RESIDUELLE 1	13866,667	48	288,889		

ANNEXE 17

Tableau d'analyse de la variance de de la première essai de Germination

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	26685,000	47	567,766		
Var.FACTEUR 1	6627,000	1	6627,000	30,260	0,000
Var.FACTEUR 2	11635,000	5	1140,267	10,626	0,000
Var.INTER F1*2	539,000	5	107,800	0,557	0,732
VAR.RESIDUELLE 1	1792,000	36	219,000		

Tableau d'analyse de la variance de de la deuxième essai de Germination

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	44546.000	351	126.912		
Var.FACTEUR 1	7731.545	7	1104.506	318.677	0.000
Var.FACTEUR 2	22130.000	10	2213.000	638.505	0.000
Var.INTER F1*2	13769.455	70	196.706	56.755	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	915.000	264	3.466		

ANNEXE 18

Tableau d'analyse de la variance de nombre des feuilles /coupe 1

	S,C,E	DDL	C,M,	TEST F	PROBA
VarTOTALE	50,061	32	1,564		
Var,FACTEUR 1	34,727	10	3,473	6,586	0,000
Var,BLOCS	4,788	2	2,394	4,540	0,023
VAR,RESIDUELLE 1	10,545	20	0,527		

Tableau d'analyse de la variance de nombre des feuilles /coupe 2

	S,C,E	DDL	C,M,	TEST F	PROBA
VarTOTALE	7,902	11	0,718		
Var,FACTEUR 1	5,711	3	1,904	5,396	0,039
Var,BLOCS	0,075	2	0,037	0,106	0,901
VAR,RESIDUELLE 1	2,117	6	0,353		

Tableau d'analyse de la variance de la hauteur des plants /coupe 1

	S,C,E	DDL	C,M,	TEST F	PROBA
VarTOTALE	1,547	32	0,048		
Var,FACTEUR 1	1,147	10	0,115	6,715	0,000
Var,BLOCS	0,059	2	0,030	1,730	0,201
VAR,RESIDUELLE 1	0,342	20	0,017		

Tableau d'analyse de la variance de la hauteur des plants /coupe2

	S,C,E	DDL	C,M,	TEST F	PROBA
VarTOTALE	0,724	11	0,066		
Var,FACTEUR 1	0,206	3	0,069	1,290	0,361
Var,BLOCS	0,200	2	0,100	1,883	0,232
VAR,RESIDUELLE 1	0,319	6	0,053		

Tableau d'analyse de la variance de poids frais total /coupe 1

	S,C,E	DDL	C,M,	TEST F	PROBA
VarTOTALE	0,172	32	0,005		
Var,FACTEUR 1	0,096	10	0,010	4,251	0,003
Var,BLOCS	0,030	2	0,015	6,648	0,006
VAR,RESIDUELLE 1	0,045	20	0,002		

Tableau d'analyse de la variance de poids frais total /coupe 2

	S,C,E	DDL	C,M,	TEST F	PROBA
VarTOTALE	0,070	11	0,006		
Var,FACTEUR 1	0,053	3	0,018	21,650	0,002
Var,BLOCS	0,012	2	0,006	7,527	0,024
VAR,RESIDUELLE 1	0,005	6	0,001		