

Ecole Nationale Supérieure Agronomique -EL Harrach- Alger
Memoire en vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques
Spécialité : Zoologie
Option : Ecologie des Communautés Biologiques

***Contribution à l'Etude de l'Activité
Nématicide de Quelques Extraits de
Plantes Contre Meloidogyne incognita
(White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949
(Nematoda : Meloidogynidae)***

par :

Melle DAHMANE Thoraya

Directeur de thèse : M^{me} SELLAMI S. Maitre de Conférences ENSA Alger
24-01-2011

Jury Président : M. BENZARA A. Professeur ENSA Alger Examineurs : M^{me} KHALFI O. Maitre de
Conférences ENSA Alger M^{me} BOUTEKDJIRET C. Professeur ENP Alger

Table des matières

Remerciements . .	5
Dédicace . .	6
Résumé . .	7
ABSTRACT . .	8
ص خ لم . .	9
LEXIQUE THERAPEUTIQUE . .	10
Introduction . .	12
Première Partie : Données Bibliographiques . .	14
Chapitre I : Généralités sur les nématodes du genre <i>Meloidogyne</i> Goeldi, 1892 . .	14
Introduction . .	14
1- Position systématique des <i>Meloidogyne</i> . .	14
2- Morphologie des <i>Meloidogyne</i> . .	15
3- Cycle biologique des <i>Meloidogyne</i> . .	15
4- Symptômologie, dégâts et seuil de nuisibilité des <i>Meloidogyne</i> . .	17
5- Gestion des <i>Meloidogyne</i> . .	19
Chapitre II : Données sur les huiles essentielles . .	22
1- Historique . .	22
2- Définition des huiles essentielles . .	23
3- Répartition, localisation, production et fonction des huiles essentielles . .	24
4- Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles . .	25
5- Composition chimique des huiles essentielles . .	25
6- Facteurs de variabilités des huiles essentielles . .	26
7- Conservation des huiles essentielles . .	27
8- Toxicité des huiles essentielles . .	27
9- Potentialités phytosanitaires des huiles essentielles . .	27
Deuxième partie : Partie Expérimentale . .	32
Objectif . .	32
I- Matériel et Méthodes . .	32
1- Matériel biologique . .	32
2- Les nématicides utilisés . .	32
3- Matériel végétal . .	33
4- Extraction des extraits à partir des plantes . .	33
5- Traitements . .	36
6- Effet des extraits de <i>F. vulgare</i> , <i>M. spicata</i> et <i>P. harmala</i> sur la mortalité des larves du deuxième stade (L2) de <i>M. incognita</i> . .	36
7- Effet des différents extraits de <i>F. vulgare</i> , <i>M. spicata</i> et de <i>P. harmala</i> sur l'éclosion des œufs de <i>M. incognita</i> . .	37
8- Traitement des résultats . .	37
9- Tests phytochimiques (screening phytochimique) . .	38
10- Analyse analytique des huiles essentielles par la technique de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse . .	40

Troisième partie : Résultats et Discussion . .	42
I- Résultats . .	42
1- Effet des huiles essentielles <i>F. vulgare</i> et de <i>M. spicata</i> sur la mortalité des juvéniles de <i>M. incognita</i> . .	42
2- Effet des extraits des feuilles de <i>P. harmala</i> sur la mortalité des juvéniles de <i>M. incognita</i> . .	46
3- Effet des extraits des fruits de <i>P. harmala</i> sur la mortalité des juvéniles de <i>M. incognita</i> . .	48
4- Effet des huiles essentielles de <i>F. vulgare</i> et <i>M. spicata</i> sur l'éclosion des juvéniles de <i>M. incognita</i> . .	59
5- Effet des extraits des feuilles de <i>P.harmala</i> sur l'éclosion de <i>M. incognita</i> . .	63
6- Effet des extraits des fruits de <i>P. harmala</i> sur l'éclosion des juvéniles de <i>M. incognita</i> . .	64
7- Les Métabolites secondaires des plantes étudiées . .	72
II- Discussion . .	75
CONCLUSION GENERALE . .	80
Données bibliographiques . .	82
Annexe . .	94
Annexe 1 : Les nématicides homologués en Algérie (Anonyme, 2007). . .	94
Annexe 2 : Caractéristiques des plantes étudiées. . .	94
Annexe 3 : Les abréviations des noms des réactifs chimiques. . .	99
Annexe 4 :Préparation des solutions pour le screening chimique. . .	100
Annexe 5 : Analyse de la variance de la mortalité de <i>M. incognita</i> (huiles essentielles de <i>F. vulgare</i> et de <i>M. spicata</i> - variable doses après 72 heures d'exposition et variable temps à la dose de 800 µl). . .	101
Annexe 6 : Analyse de la variance de la mortalité de <i>M. incognita</i> (Feuilles de <i>P. harmala</i> -variable doses après 72 heures d'exposition). . .	102
Annexe 7 : Analyse de la variance de la mortalité de <i>M. incognita</i> (Fruits de <i>P. harmala</i> -variable doses après 72 heures d'exposition). . .	103
Annexe 8 : Analyse de la variance de l'éclosion de <i>M. incognita</i> (<i>F. vulgare</i> et <i>M. spicata</i> -variable doses (après 72 heures d'exposition). . .	104
Annexe 9 : Analyse de la variance de l'éclosion de <i>M. incognita</i> (Feuilles de <i>P. harmala</i> -variable doses). . .	105
Annexe 10 : Analyse de la variance de l'éclosion de <i>M. incognita</i> (Fruits de <i>P. harmala</i> -variable doses). . .	106

Remerciements

Au terme de ce travail et en témoignage de ma reconnaissance, je tiens à remercier ALLAH de m'avoir donné la santé, la force et le courage afin d'achever ce manuscrit.

Mes remerciements les plus respectueux vont à Madame SELLAMI S. Maître de Conférences à l'E.N.S.A., directrice de thèse, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, en me procurant les conditions propices. Votre disponibilité, votre gentillesse, votre connaissance scientifique et vos orientations tout au long de ce travail m'ont permis d'avancer plus et progresser encore dans mes recherches.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur BENZARA A. Professeur à l'E.N.S.A., qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury ; et aussi pour l'accomplissement des traitements statistiques. Qu'il trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.

Je tiens à remercier vivement Madame KHALFI O. Maître de Conférences à l'E.N.S.A. et Madame BOUTEKDJIRET C. Professeur à l'E.N.P., pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Qu'elles trouvent ici, le témoignage de mes respects les plus profonds.

J'exprime ma gratitude et mes remerciements les plus sincères à Monsieur le Professeur SELLAMI M. Responsable de l'Option Ecologie des Communautés Biologiques, pour ses encouragements, son suivi et sa grande disponibilité.

J'adresse mes sincères remerciements aux enseignants de département de Zoologie, ainsi qu'à l'ensemble des enseignants de l'E.N.S.A. sans oublier tous les enseignants qui ont participé à ma formation durant toutes mes années d'études.

J'avoue ma reconnaissance et mes remerciements à la Direction du Centre de Recherche et du Développement du Groupe SAIDAL, ainsi qu'à tous le personnel, pour leurs encouragements, orientations et aides précieuses. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma parfaite considération.

Je remercie infiniment Monsieur GUERMOUCHE H. Professeur Consultant au C.R.D. Saidal et Monsieur BENYOUCEF E.H. Professeur à l'E.N.P., AMI REZKI et Monsieur AIT OUARAB K., pour leur aide précieuse.

Enfin, je remercie profondément mes amis (es), mes camarades, les agriculteurs et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour l'élaboration de cette thèse.

Dédicace

*A MES CHERS PARENTS A MES SŒURS ET FRÈRES A MA NIECE ET MES NEUVEUX A
TOUTE MA FAMILLE A TOUS MES AMIS (ES) A TOUS MES CHERS Je dédie ce modeste
travail THORAYA DAHMANE DECEMBRE 2010*

Résumé

Notre travail a porté sur l'étude de l'efficacité des huiles essentielles de *Mentha spicata* (Lamiaceae), *Foeniculum vulgare* (Apiaceae) et les extraits végétaux de *Peganum harmala* (Zygophylaceae) vis-à-vis de *Meloidogyne incognita*.

Les huiles essentielles testées *in vitro* montrent que le pourcentage de mortalité des larves dépend du temps d'exposition et de la dose. Il est respectivement de 90.87% et 83.45% à la dose de 800 µl/l pour une durée de 72 heures pour *Foeniculum vulgare* et *Mentha spicata*. Parmi les trois extraits de *Peganum harmala* testés : éthanolique, hexanique et aqueux, le plus efficace est l'extrait éthanolique de fruits avec un taux de mortalité de 100% à la dose de 50% et après 72 heures d'exposition. A cette même dose et même durée, le pourcentage d'inhibition de l'éclosion est de 69.19% .

Par ailleurs, le pourcentage d'inhibition de l'éclosion des oeufs est respectivement de 83.36% et 68.18% pour les huiles essentielles de *Foeniculum vulgare* et *Mentha spicata* à la dose de 800 µl/l après 72 heures. Enfin, cette étude a été complétée par la mise en évidence des métabolites secondaires (screening phytochimique) et les constituants (C.G/M.S) présents dans les plantes testées.

Mots clés : huile essentielle, *Meloidogyne incognita*, mortalité, éclosion, screening phytochimique, C.G/M.S.

ABSTRACT

Title : Contribution of nematicidal activity of some plant extracts against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919) Chitwood, 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

the study was carried about the effectiveness of essential oils of *Mentha spicata* (Lamiaceae), *Foeniculum vulgare* (Apiaceae) and plant extracts of *Peganum harmala* (Zygophilaceae) against *Meloidogyne incognita*.

The essential oils tested *in vitro* show that the percentage of mortality depend of exposure time and dose. It is respectively of 90.87% and 83.45% at 800 µl / after 72 hours for *Foeniculum vulgare* and *Mentha spicata*. Among the three extracts of *Peganum harmala* tested: ethanolic, hexanic and aqueous , the more efficace was the extracts of fruits ethanolic with a percentage of mortality 100% dose of 50% after 48 hours ; at the same concentration and exposure time, the percentage of hatching inhibition of eggs is 69.19% .

The percentage of hatching inhibition of eggs is respectively 83.36% and 68.18% for *Foeniculum vulgare* and *Mentha spicata* at 800 µl / l after 72 hours.

Finally, this study was completed by obviousness taken of secondary metabolits (phytochemical screening) and constituents (C.G/M.S.) presents in tested plants.

Keywords : Essential oil, *Meloidogyne incognita*, mortality, hatching, phytochemical screening, C.G/M.S.

ص خلم

الموضوع : مساهمة لدراسة فعالية بعض المستخلصات النباتية ضد

Meloidogyne incognita (Kofoid & White) 1919 Chitwood 1949 (*Nematoidea: Meloidogynidae*)

ركز عملنا على دراسة فعالية الزيوت الأيسلي، *Mentha spicata* (Lamiaceae) النعناع الأخضر *Foeniculum vulgare* ، الشمر (Apiaceae)، ومستخلصات نبت الحرمل *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) ضد *Meloidogyne incognita*

الزيوت الأساسية المعجربة في المخبر تبين بأن نسبة الوفيات لليرقات من الجيل الثاني L 2 تأثر بمدى التعرض والتركيز، فيما يتعلق بالزيت الأيسلي لبذور الشمر (السيلس) فإن نسبة الوفيات تقدر بـ 90.87%، أما الزيت الأيسلي لأوراق النعناع الأخضر فهي 83.45% بتركيز / 800 µl و بعد مدة 72 ساعة من التعرض ، مستخلصات الإيثانول، الهكسان الميثي لنبات الحرمل المعجربة تبين أن مستخلص الإيثانول هو الأكثر فعالية، فبعد 48 ساعة من التعرض وفي تركيز 50% أعطى نسبة 100% من الوفيات، وفي مثل هذه المدة وفي هذا التركيز نسبة كبت فقس البيض لمتاود العقد هي: 69.19%.

بعد مدة 72 ساعة من التعرض وفي تركيز 1 / 800 µl ، نسبة فقس البيض لمتاود العقد هي: 83.38% بالنسبة للشمر و 68.18% بالنسبة للنعناع الأخضر.

وفي الأخير هذه الدراسة أكملت بتحليل النباتي الكيميائي و C.G/M.S. لأجل تحديد كمية ونوعية المواد الكيميائية الموجودة في مستخلصات النباتات المعجربة.

مفتاح الكلمات : زيت أساسي *Meloidogyne incognita* ، وفيلت، تقفيس البيض، التحليل النباتي الكيميائي، C.G/M.S.

LEXIQUE THERAPEUTIQUE

- **Alcaloïdes** : ce sont des métabolites secondaires, substances végétales azotées, de structure variable, douées d'une activité physiologique souvent intense, responsables des effets toxiques.
- **Anthelminthique** : médicament actif contre les vers parasites.
- **Antiseptique** : substance qui détruit les microbes et empêche leur développement.
- **Aromatique** : plante d'odeur agréable.
- **Anthocyanes** : ce sont des métabolites secondaires. Ils appartiennent à la classe des flavonoïdes. Elles sont capables d'absorber la lumière visible, sont des pigments qui colorent les plantes en bleu, rouge, mauve, rose ou orange.
- **Carminatif** : substance qui aide à expulser les gaz d'estomac.
- **Cataplasme** : emplâtre aux propriétés calmantes, utilisée en application sur la peau.
- **Coumarines** : substances naturelles (métabolites secondaires) dont la structure comporte le noyau benzo- α pyrone (coumarine) résultant de la lactonisation de l'acide ortho-hydroxy- cis cinnamique.
- **Emménagogue** : substance qui provoque ou régularise le flux menstruel.
- **Engorgement** : embarras produit dans une partie du corps par l'accumulation des fluides.
- **Flavonoïdes** : ce sont des métabolites secondaires, composés naturels appartenant à la famille des polyphénols. Leur fonction principale semble être la coloration des plantes.
- **Galactagogue** : substance qui favorise la sécrétion lactée.
- **Glucosides (Hétérosides)** : ce sont des molécules de sucres (quinones combinées) qui sont liées soit à une fonction phénol (hétérosides phénoliques) soit à un dérivé nitré (hétérosides cyanogénétiques) ou soufré (hétérosides sulfurés) qui entraînera des propriétés particulières de la molécule.
- **Harmame, harmine, harmaline et harmol** : différents types d'alcaloïdes existants chez *P. harmala*.
- **Leuco anthocyanes** : type de flavonoides.
- **Les quinones** : se sont des polyphénols, qui constituent une série de composés aromatiques comportant un noyau de benzène sur lequel deux atomes d'hydrogène sont remplacés par deux oxygènes formant deux liaisons carbonyles.
- **Quinones libres** : se sont des quinones dégradées, non liées à des sucres.
- **Quinones combinés** : Elles peuvent être combinées à des sucres (anthraquinones)
- **Saponosides** : se sont des hétérosides naturels dont la matière est un composé soluble dans l'eau qui la rend moussante comme une eau de savon.
- **Senosides** : type de glycosides utilisés comme laxatif.
- **Stimulante** : substance qui augmente l'ardeur.
- **Stomachique** : substance qui est capable de rétablir le fonctionnement de l'estomac.
- **Tanins** : ce sont des substances naturelles phénoliques qui peuvent précipiter les protéines à partir de leurs solutions aqueuses[].
- **Tanins catéchétiques (condensés)** : sont construits par une unité gallique ou ellagiques comportant une liaison à une catéchine.

- **Tanins ellagiques** : sont formés autour d'un sucre (glucose ou polyol dérivé du D-glucose) comportant plusieurs liaisons esters d'acide hexahydroxydiphénique (HHDP) (ou de ses dérivés DHHDP, acide chébulique).
- **Tanins galliques** : sont formés autour d'un sucre (glucose ou polyol dérivé du D-glucose) comportant plusieurs liaisons esters avec des acides galliques (ou leurs dérivés).
- **Tonique** : substance qui est accroit la viabilité et l'énergie de l'individu en activant ces fonctions.
- **Vermifuge** : substance qui est capable de détruire les vers intestinaux.

Introduction

En Algérie durant la dernière décennie, on assiste à un regain d'intérêt porté à la production légumière dans plusieurs wilayates du pays. En effet, la production des cultures maraîchères sous abri-plastique est passée de : 2 176 800 qx en 1999 à 4 306 890 qx en 2009 ; et pour cette même période, les superficies nationales sont passées de : 4 261.67 à 7 794.72 ha (Anonyme, 1999 ; Anonyme, 2009).

Cet accroissement de la production est lié à une augmentation aussi bien des superficies emblavées et l'utilisation des traitements chimiques contre les ravageurs et les maladies des cultures maraîchères dont les nématodes phytophages. Ces derniers occupent une place importante devant les insectes et les mauvaises herbes. Il est à signaler que peu de cultures échappent à l'infestation des nématodes, et particulièrement au genre *Meloidogyne* qui constitue une entrave réelle à ces cultures. En effet, même s'il existe de différences quantitatives importantes suivant les espèces, les coûts engendrés par ces bioagresseurs sont imputables à :

- Une diminution des rendements,
- une dépréciation de la qualité de la production qui devient impropre à la commercialisation,
- une augmentation des fréquences d'irrigation pour palier les perturbations,
- et au recours à des traitements nématocides très coûteux.

En Algérie, les nématodes ont été signalés à travers toutes les zones du littoral et le Sud du pays (Sellami et *al.*, 1999). A l'échelle mondiale, le taux d'infestation des abris plastiques par les *Meloidogyne* est de l'ordre de 10%, et les pertes causées par ces bioagresseurs avoisinent les 14% (Agrios, 2005) à 25% (Whitehead, 1998).

La gestion de ces bioagresseurs reste difficile compte tenu de leur extrême résistance aux conditions climatiques et de leur grande variabilité physiologique.

En Algérie, ces nématodes sont gérés uniquement par l'application des nématocides chimiques à base des fumigants (D.D) et des organophosphorés (Phénamiphos, Ethoprophos et Cadusaphos) (Abu Gharbieh et *al.*, 2010).

Les nématocides ne sont pas sans danger sur l'utilisateur et l'environnement. En effet, l'emploi de ces pesticides pose un grave problème d'accumulation des résidus aussi bien dans les tissus végétaux que dans les produits de consommation, dans le sol et dans les nappes phréatiques. Le nombre de nématocides de synthèse est faible car il est amoindri chaque année suite aux décisions prises par l'Union Européenne et le protocole de Montréal, ainsi que le retrait de Dichloropropène-Dichloropropane depuis 2009 (Besri, 2009).

L'utilisation de ces pesticides a récemment été révisée et limitée par les législations européennes, la gestion des nématodes s'orientent de plus en plus vers l'environnement, la sécurité alimentaire et la santé humaine et animale.

Face à cette situation, les études actuelles sont destinées à développer des méthodes alternatives (Isman, 2006). Ces dernières années l'accent a été mis sur la protection biologique favorisant d'une part la gestion par l'utilisation d'engrais vert (Curto et *al.*, 2005),

les amendements du sol (Korayem, 2003 ; Zasada et Tenuta, 2008), la solarisation du sol (Sidiqqi, 2005 ; Chellemi, 2006), les variétés résistantes (Djian-Caporalino et *al.*, 2009 ; Castagnone-Sereno, 2002), la biofumigation (Djian-Caporalino et *al.*, 2009) et d'autre part les biopesticides végétaux ou leurs produits dérivés (Sasanelli et *al.*, 2008 ; Sellami et *al.*, 2009). Ces derniers bien qu'ils représentent une faible fraction du marché mondial connaissent actuellement une nette croissance. En effet, le taux de croissance de ces biopesticides durant cette dernière décennie est évalué de 10 à 15% par an ; celui des pesticides chimiques est de 2.5% (Vasantharaj, 2008).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude qui vise à évaluer l'efficacité des différents extraits de *Peganum harmala* L. (*Zygophyllaceae*) ainsi que l'effet des huiles essentielles de *Feoniculum vulgare* L. (*Apiaceae*) et de *Mentha spicata* L. (*Lamiaceae*) sur la mortalité des larves du deuxième stade L2 et le potentiel d'éclosion des œufs de *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood (*Meloidogyinidae*). Cette étude est complétée par la mise en évidence des métabolites secondaires de ces extraits éventuellement responsables de cette toxicité.

Première Partie : Données Bibliographiques

Chapitre I : Généralités sur les nématodes du genre *Meloidogyne* Goeldi, 1892

Introduction

Les *Meloidogyne* sont considérés comme les bioagresseurs les plus redoutables sur cultures maraîchères, principalement dans les pays tropicaux et les pays à climats chauds ; ils constituent une des principales contraintes sur cultures protégées dans les pays méditerranéens où les conditions climatiques leurs sont favorables (Giannakou et *al.*, 2007).

En Algérie, les *Meloidogyne* ont été découvert pour la première fois en 1928, dans les zones maraîchères de la Mitidja par Delassus (Scotto La Massèse, 1962).

Actuellement, ce genre constitue l'un des principaux ravageurs des cultures maraîchères aussi bien sous abris qu'en plein champ (Sellami et *al.*, 1999).

Ce sont des endoparasites, très polyphages ayant une gamme d'hôtes très large regroupant de nombreuses familles botaniques cultivées ou spontanées, Ainsi Blok et *al.*, (2008) ont recensé 5500 espèces végétales infestées par ces nématodes.

Selon Karssen (2002), ce genre comprend plus de 80 espèces ; les plus importantes du point de vue dégâts et distribution sont :

- *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949,
- *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949,
- *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1949) Chitwood, 1949,
- et *Meloidogyne halpa* (Chitwood, 1949).

1- Position systématique des *Meloidogyne*

Vu l'intérêt accordé à ce genre, la systématique de *Meloidogyne* a été plusieurs fois revue. Nous proposons ici la classification de Karssen et Moens (2005).

- **Phylum** : *Nematoda*
 - **Classe** : *Secernentea*
 - **Ordre** : *Tylenchida*
 - **Sous ordre** : *Tylenchina*
 - **Super famille** : *Tylenchoidea*
 - **Famille** : *Meloidogynidae*
 - **Sous famille** : *Meloidogyninae*
 - **Genre** : *Meloidogyne* (Goeldi, 1892)
-

2- Morphologie des *Meloidogyne*

Les *Meloidogyne* sont des endoparasites sédentaires, ils se caractérisent par un dimorphisme sexuel très prononcé. Ce sont des vers de taille microscopique, pourvus d'un stylet buccal qui joue un rôle important dans la nutrition (Perry et Moens, 2006 ; Dabaj et *al.*, 2010).

Ils sont constitués d'un tube externe, cuticule enveloppant deux tubes internes superposés : le tube digestif et le tractus génital (mâle ou femelle) ; ils possèdent à la partie antérieure du tube digestif un stylet de 10 à 25 μm perforant suivi d'un canal œsophagien aboutissant à un bulbe médian, ce dernier joue un rôle de pompe aspirante et refoulante. Les mâles adultes sont vermiculaires, mobiles, de 1.2 à 1.5 mm de long sur 30 à 36 μm de large ; pourvu d'un stylet court de 19 à 44 μm ; leur action sur l'hôte est secondaire (Hirschman, 1985 ; Agrios, 2005).

Les femelles adultes sont en forme de poire, de couleur blanchâtre, mesurant environ 0.40 à 1.30 mm de long sur 0.27 à 0.75 mm de large ; leurs stylet mesure 10 à 20 μm . Elles se fixent sur la racine de l'hôte (sédentaires) (Agrios, 2005 ; Perry et Moens, 2006). Les œufs en forme d'haricot mesurent 90 μm de long et 40 μm de large (Orton, 1973) (Figure 1).

3- Cycle biologique des *Meloidogyne*

Les *Meloidogyne* sont des endoparasites sédentaires, leur cycle de développement débute par la ponte des œufs par la femelle. Ces derniers sont pondus dans une substance gélatineuse qui les protège des conditions climatiques extrêmes (De Guiran, 1971 ; Demeure, 1980) (figure 2).

Après éclosion, les œufs vont donner naissance à des juvéniles de deuxième stade L2 qui constituent le stade infestant. Ensuite, ils seront libérés dans le sol et vont se déplacer dans la racine pour atteindre le cylindre central où elles induisent la formation des cellules géantes qui constituent les cellules nourricières de ces larves. Après avoir pénétré dans une racine hôte, les *Meloidogyne* s'installent au niveau du cylindre central pour s'alimenter. Après, ils vont subir différentes mues avant d'évoluer en mâles ou en femelles. Les juvéniles des stades 3 et 4, ayant perdu leur stylet ne se nourrissent plus (Davis et *al.*, 2008). Agrios (2005), précise qu'après la quatrième mue, ils commencent à se renfler, les cellules subissent une multiplication intense pour se différencier, entraînant la formation des galles caractérisant le parasitisme des *Meloidogyne*.

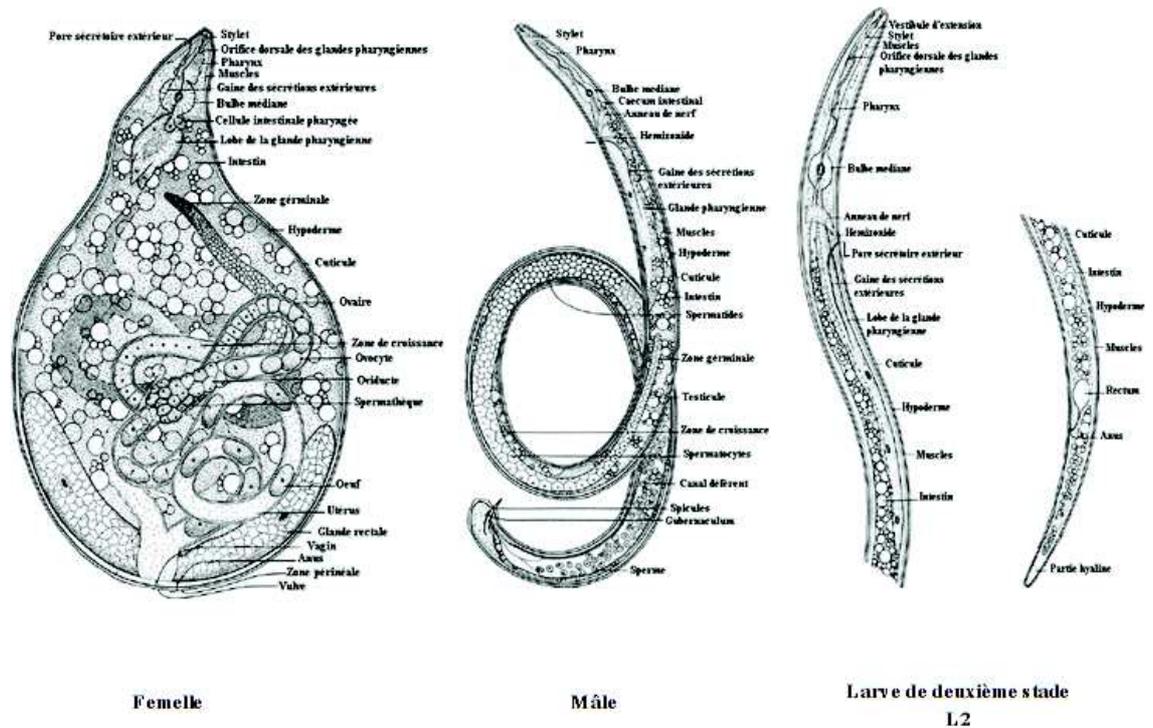


Figure 1 : Morphologie des *Meloidogyne*. (Eisenback et Triantaphyllou, 2006).

Plusieurs facteurs peuvent influencer le développement des *Meloidogyne*. Ainsi, la température détermine les activités du nématode. L'optimum varie selon l'origine géographique de l'espèce et varie entre 15 et 25°C (Khaeir et al., 2004).

Le cycle complet nécessite 35 à 45 jours où quatre à cinq générations se succèdent par an (Anonyme, 1986). Par ailleurs, l'humidité du sol peut limiter la pénétration des larves et inhiber l'éclosion des œufs (Starr et al., 1993).

Les *Meloidogyne* se rencontrent dans plusieurs types de sol. Cependant, la nature du sol influe l'intensité de l'infection. A ce titre, Al Hazmi et al., (2010) rapportent que les sols argileux (lourds) sont moins favorables pour les déplacements des juvéniles des *Meloidogyne* que les sols sableux. De même, Ferris et Van Gundy (1979), rapportent que les dégâts sont plus accentués dans les sols sableux.

Par ailleurs, l'éclosion des œufs des *Meloidogyne* est influencée par le pH du sol. A titre d'exemple, l'éclosion de *M. javanica* est inhibée à un pH de 3.5 et 10.5 (Ami et Sabaâ,

1988). L'augmentation des dégâts aux cultures est souvent associée aux sols alcalins (Perry et Moens, 2006).

Enfin, Le développement des *Meloidogyne* est aussi influencé par d'autres facteurs tels que, le parasitisme, les maladies, la sensibilité des plantes (Al Hazmi et *al.*, 2010).

4- Symptômologie, dégâts et seuil de nuisibilité des *Meloidogyne*

Les dégâts causés par les nématodes ne présentent pas de symptômes spécifiques caractérisant leur parasitisme. De ce fait, une analyse nématologique s'avère nécessaire pour le diagnostic (Deguiran et Netscher, 1970 ; Stephan et Abu Gharbeih, 2010). Ces symptômes sont décrits comme suit :

4-1- Sur la partie souterraine

Selon Agrios (2005) ; Stephan et Abu Gharbeih (2010), les symptômes se traduisent par :

- Une réduction du système racinaire,
- une distorsion de la structure racinaire ou une augmentation du diamètre des racines,
- la présence de petites galles multiples et disséminées constituent des tumeurs.

En raison de nombreuses interactions qui existent entre certaines maladies fongiques comme : *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp. et *Fusarium* spp. ou bactériennes comme : *Pseudomonas* spp. et *Agrobacterium* spp. (Perry et Moens, 2006) qui sont favorisés par les lésions induites par l'entrée des nématodes, ce synergisme constitue parfois un facteur limitant d'une culture donnée (Whitehead, 1998).

Au niveau mondial, on estime les pertes à 80 milliards de dollars par an, les *Meloidogyne* sont responsables des dégâts atteignant 10% de la production maraîchère et entraînent des diminutions de récoltes de 20 à 30% dans les vergers d'agrumes méditerranéens (Agrios, 2005).

Une infestation de 10 larves par gramme de sol peut provoquer une diminution importante de la production et dépend de la nature de l'hôte et de l'espèce, ainsi le seuil de nuisibilité de *M. incognita* varie entre 5 à 10 larves par gramme de sol sur tomate (Di Vito et al., 1991 ; Wesemzael et al., 2006). De même, une densité de 25 L2 /cm³ de sol peut causer des pertes importantes (Van Damme et al., 2005).

Enfin, les dégâts dus aux *Meloidogyne* sont difficilement chiffrables. En outre, ils dépendent pour beaucoup du système de culture utilisé.

5- Gestion des *Meloidogyne*

5-1- Les méthodes prophylactiques

Toutes les mesures prophylactiques sont un préalable indispensable pour limiter les infestations. Selon Djian-Caporalino et al., (2009), il est indispensable de gérer les outils de travail du sol (par un nettoyage) et tenir compte de l'environnement des abris par l'élimination des mauvaises herbes qui permettent donc aux populations de nématodes de se maintenir. Enfin, il faut maîtriser la gestion de l'irrigation évitant les excès d'eau, voie favorable à leur dissémination.

5-2- Les méthodes culturales

Ce sont des procédés relativement simples et peu onéreux qui peuvent limiter les dégâts occasionnés par les *Meloidogyne*, parmi lesquelles nous citons : la jachère, les amendements organiques et la rotation. Cette dernière est basée sur une alternance judicieuse de plantes non-hôtes. Cependant, cette technique reste à déconseiller vis-à-vis des *Meloidogyne* en raison de leur grande polyphagie (Viane et al., 2006).

Actuellement, des résultats intéressants et prometteurs sont obtenus si les plantes «faux hôtes» ou «plantes pièges» sont incluses dans le système de rotation culturale (Védie et Aïssa-Madani, 2008 ; Djian-Caporalino et al., 2009).

5-3- Les méthodes génétiques

L'utilisation des variétés résistantes est un moyen de lutte efficace qui permet le maintien des populations de nématodes au dessous du seuil de nuisibilité sans risque sur les autres constituants de la biocénose. En effet, la résistance génétique reste un moyen privilégié pour la gestion des nématodes.

Toutefois, l'utilisation répétée des variétés résistantes est confrontée à la création de populations virulentes qui sont capables de briser la résistance vis-à-vis du gène Mi.

Ceci limite leur efficacité et par conséquent la durée d'exploitation des variétés résistantes commercialisées (Castagnone-Sereno, 2002).

D'autres sources de résistance ont été recherchées. Ainsi, chez le piment/poivron, plusieurs gènes à large spectre d'action, robustes et stables à haute température sont disponibles (Djian-Caporalino et al., 2005).

5-4- Les méthodes physiques

Parmi ces procédés, nous citerons la thermothérapie, la désinfection à la vapeur et l'inondation. Cependant, ces techniques ne sont utilisées que dans des conditions exceptionnelles. Enfin, la solarisation du sol constitue actuellement la méthode alternative la plus utilisée notamment dans les pays du Moyen Orient (Abu Gharbieh et al., 2010).

C'est une méthode hydrothermique qui désinfecte le sol, elle consiste à recouvrir le sol avec un film de polyéthylène transparent de 25 à 30 µm durant les périodes les plus chaudes pendant 4 à 8 semaines (Katan, 1987 ; Stapleton, 2000 ; Israel et al., 2005). Son efficacité a été signalée vis-à-vis de nombreux nématodes (Sasanelli et al., 2008 ; Siddiqui, 2005 ; Chellemi, 2006), particulièrement les *Meloidogyne* (Sellami et Lounici, 2000 ; Castillo et al., 2003). Cette pratique est aussi efficace contre les maladies fongiques (Morra et al., 2005) et bactériennes (Antoniou et al., 1995), mais également contre les mauvaises herbes et les plantes parasites (Sellami et Lounici, 2000 ; Salvidar et al., 2003 ; Minuto et al., 2005).

5-5- Les méthodes chimiques

La lutte chimique contre les *Meloidogyne* est basée sur l'utilisation des nématicides fumigants et des substances endothermiques (systémiques).

Les fumigants comptent parmi les nématicides les plus dangereux, ils agissent en saturant l'atmosphère et en remplissant les pores du sol tuant ainsi les nématodes par asphyxie. Leur emploi est difficile à appliquer et nécessite certaines conditions mais ne sont utilisés qu'avant la mise en place des cultures (Whitehead, 1998).

Les traitements réalisés pour protéger les cultures en place se font par contre au moyen des nématicides dites systémiques. Ces derniers agissent par ingestion en inhibant l'acétyl cholinestérase et par conséquent la pénétration des nématodes dans les plantes hôtes.

Ces produits sont également très dangereux et sont représentés par les organophosphorés et les carbamates. Les caractéristiques des nématicides homologués en Algérie sont consignées dans l'annexe 1.

Actuellement, les nématicides (particulièrement les fumigants) font l'objet de nombreuses restrictions (Selon le Protocole de Montréal) (Besri, 2009).

De ce fait, il apparaît nécessaire de développer d'autres méthodes de lutte alternative respectueuse de l'environnement pour une gestion durable de ces nématodes.

5-6- Les méthodes biologiques

Selon Stephan et Abu-Gharbieh(2010), la lutte biologique contre les *Meloidogyne* consiste à utiliser des microorganismes vivants, parmi lesquels nous citons :

5-6-1- Les champignons nématophages : ils sont classés en fonction de leur mode d'action

· **Les champignons prédateurs** : ils sont caractérisés par l'apparition d'organes de capture comme les anneaux, les spires, les boutons, les boucles anastomosées etc... c'est le cas des genres : *Arthrobotrys* spp., *Dactylella* spp., ou *Dactylaria* spp. Néanmoins, ces derniers n'ont pas permis le développement et la réussite escomptés.

Des études sur de nouvelles souches plus performantes, une technique de production moins onéreuse, et une méthode de conservation sans chaîne de froid font l'objet d'actuelles recherches.

· **Les champignons endoparasites** : ils ont fait également l'objet de nombreuses recherches, ces champignons pénètrent dans l'œuf après formation d'un appressoria et agissent par la production de toxines.

Dans ce groupe, nous citons *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson qui parasite la paroi il est commercialisé sous le nom de Bioact (Kiewnick et Sikora, 2006). Cependant, son application ne s'effectue que dans les sols acides à températures élevées (Djian-Caporalino et Panchaud-Mattei, 1998).

De même, *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare and W.Gams parasite également les œufs des *Meloidogyne* et des *Heterodera*. Il est caractérisé par la formation des chlamydospores qui sont libérées dans le sol (Van Damme et al., 2005). Cependant malgré son efficacité, ce champignon n'a fait l'objet que d'études expérimentales.

5-6-2- Les bactéries

parmi les bactéries nématoparasitaires : *Pasteuria penetrans* (Thorne) Sayre et Starr est considérée comme étant l'espèce la plus prometteuse pour la gestion des *Meloidogyne* ; elle agit par la fixation des spores sur la cuticule des différents stades de développement (Mateille, 2007 ; Mateille et al., 2009). Ces spores peuvent survivre dans le sol et sont capables de parasiter les *Meloidogyne* et bloquer leur multiplication (Perry et Moens, 2006 ; Djian-Caporalino et al., 2009). Selon, ces derniers auteurs, sa trop grande spécificité et ses problèmes de production en masse limitent fortement son utilisation.

5-6-3- Les plantes nématicides

Des centaines de plantes ont fait l'objet de nombreux travaux pour une gestion durable des populations de nématodes et sont traditionnellement employées dans certains pays comme l'Asie, le Brésil et l'Inde. Ces plantes peuvent réagir en synthétisant de nombreuses substances qui sont néfastes aux nématodes par plusieurs manières :

· Elles peuvent être exsudées des racines et agir en inhibant la pénétration et l'éclosion des larves ou encore en empoisonnant les nématodes. A cet effet, Djian-Caporalino et al.,(2005) signalent l'efficacité de *Eragrostis curvula* (Schrad.) (*Poaceae*) qui manifeste un effet ovicide sur les *Meloidogyne*, et le cas également de *Coriandrium sativum* L. (*Apiaceae*).

· Elles peuvent synthétiser des phytoalexines et ainsi réduire le développement et la multiplication des nématodes. Les travaux dans ce sens sont très nombreux parmi lesquels nous citons : les extraits de : *Acacia gummiifera* Willd. , *Ceratonia siliqua* L. et *Ononis natrix* L. (*Fabaceae*), *Tagetes patula* L. (*Asteraceae*) et *P. harmala* qui sont très efficaces contre les *Meloidogyne* avec un taux de mortalité variant de 60 à 95% (El Allagui et al ., 2006).

En Algérie, plusieurs extraits ont été testés contre les *Meloidogyne*, ainsi que l'efficacité de diverses espèces comme *Ricinus communis* L., *Crotalaria saharae* L., *Datura stramonium* L., *Tagete erecta* L. et *T. patula* L. (Sellami et Mouffareh, 1994 ; Sellami et Zemouri, 2001). De même, l'efficacité des extraits des plantes aromatiques de la famille des *Lamiaceae* : comme *Origanum floribundum* Munby, *Salvia officinalis* Linnaeus, *Ocimum basilicum* L. et *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut., et *Rutaceae* : *Ruta graveolens* L. a été prouvée sur la mortalité des juvéniles et l'éclosion des œufs de *M. incognita* (Mezerket, 2005).

Dans la pratique, elles sont susceptibles d'être utilisées comme engrais verts, amendements, cultures intercalaires ou encore cultures dérobées. Ainsi, introduites dans les cultures dans le but de diminuer les populations des nématodes et minimiser les dégâts causés par ces dernières. A ce titre, l'exemple des *Asteraceae* (les Tagetes), des *Fabaceae* (les Crotalaires) dont l'efficacité a été notée par plusieurs auteurs (Sellami et Cheifa, 1997 ; Sellami et Zemouri, 2001 ; Ntalli et al., 2009 ; Elbadri et al., 2010).

Ou encore pouvant servir d'amendements organiques nématicides. A cet effet, Mokri et al., (2010) rapportent que l'utilisation du tourteau d'olivier (*Oleaceae*) et d'Eucalyptus (*Myrtaceae*) et les graines de Melia (*Meliaceae*) manifestent un effet nématicide qui se traduit par une diminution des populations des *Meloidogyne* ; une augmentation de la croissance des plants de tomate suite à ces traitements a été également enregistrée.

En plus de ces extraits, des études plus poussées ont permis de mettre en évidence les composés responsables de cette toxicité ; notamment à partir des composés volatils appelés huiles essentielles, cet aspect fera l'objet d'une étude plus détaillée.

5-7- La lutte intégrée

Un seul moyen de lutte reste insuffisant pour réduire les populations et les dégâts causés par les *Meloidogyne*. La stratégie de lutte intégrée paraît par conséquent la meilleure solution, plusieurs auteurs suggèrent des programmes de lutte intégrée appliqués comme suit pourrait être efficace :

- L'incorporation d'amendements organiques au sol avec la solarisation du sol permet une réduction significative des populations de *M. incognita* et *M. javanica* (Oka, 2010).
- L'utilisation du nématicide : Vydate (24%), du champignon : *Trichoderma harzianum* Pers. et *Bacillus thuringiensis* Berliner réduisent l'infection due aux *Meloidogyne*. Cependant, l'efficacité est plus importante quand les trois traitements sont associés en traitement préventif (Ami et Ayoub, 2009).

Enfin, ces systèmes permettent d'assurer une réduction plus durable et plus efficace des effectifs des nématodes et contribuent à réduire les risques associés à l'utilisation des nématicides.

Chapitre II : Données sur les huiles essentielles

1- Historique

Sur le plan historique, le développement des procédés d'extraction remonte à l'antiquité. Par exemple, les colorants ont toujours joué un rôle très important dans la vie de l'Homme.

Des fragments de tissus teints à partir de garance, datés de plus de 3500 avant J.C, ont été découverts dans les ruines de certaines civilisations indienne et égyptienne.

Dioscoride Pedanius, médecin grec au premier siècle de notre ère, avait écrit un ouvrage sur la matière médicale qui fut reproduit au Moyen âge par les arabes. Il a recherché les origines de la distillation et l'Égypte fut un berceau de cette technique.

Par la suite, Avicenne médecin et philosophe musulman fut l'un des premiers chercheurs qui a élaboré un procédé d'extraction des huiles essentielles par entraînement à la vapeur d'eau au début du 15^{ème} siècle (Richard et Multon, 1992).

Au début du 16^{ème} siècle Paracelse, médecin suisse père de la pharmacognosie étudia l'âme des végétaux sous forme de quintessence (5^{ème} essence) à laquelle le nom d'esprit a été donné puis il lui attribua le nom d'essence et finalement le nom d'huile essentielle.

Plus tard au 18^{ème} siècle, commence l'utilisation des solvants d'origine pétrochimique pour extraire les matières naturelles. En 1870, l'extraction par solvant a été mise en œuvre comme un procédé industriel en Europe ; et vers les années 1905-1910, le naphte et le gasoil commencent à être extraits. Likens et Nickerson en 1964, inventent un procédé de distillation-extraction simultanée pour l'industrie de la bière. Leurs travaux ont constitué la base d'innombrables recherches afin d'améliorer la qualité des produits et réduire les temps d'extraction (Martini et Seiller, 1992 ; Rose, 1965 IN : Hernandez Ocho, 2005).

2- Définition des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des produits, le plus souvent, liquides plus ou moins épais, ayant une odeur souvent forte très caractéristique. Scientifiquement, l'essence est une sécrétion de la plante contenue dans des micropoches constituant la cellule qui va l'élaborer (Valnet, 1980).

D'après Bernard et *al.*, (1988), le terme «huile» désigne le caractère visqueux et hydrophobe et le terme «essentielle» désigne la caractéristique principale de la plante à travers ses exhalations. Ce sont des principes volatils généralement odoriférants synthétisés par l'organisme végétal et elles ont la propriété de se solubiliser dans les huiles et les graisses.

En 1992, Martini et Seiller, rapportent que les huiles essentielles sont des mélanges de divers produits issus d'une espèce végétale, ces mélanges passent avec une certaine proportion d'eau lors d'une distillation effectuée dans un courant de vapeur d'eau.

Bruneton (1999), définit les huiles essentielles (essences : huiles volatiles) comme étant des produits de composition généralement assez complexe renfermant les principes volatils contenus dans les végétaux supérieurs. Elles sont obtenues par distillation à l'eau, ou par expression chez les *Citrus*.

En 2000, l'Association Française de la Normalisation (A.F.N.O.R.), définit les huiles essentielles comme des produits obtenus soit à partir des matières premières naturelles par distillation à l'eau, soit à partir des fruits de *Citrus* par des procédés mécaniques et qui sont séparés de la phase aqueuse par des procédés physiques.

Dans la nouvelle encyclopédie pour Funk et Wagualls (2004), les huiles essentielles sont décrites en tant que liquides, volatiles, la plupart du temps insolubles dans l'eau mais solubles dans l'alcool, l'éther et les huiles végétales.

Récemment Telphon (2005), a proposé la définition suivante : l'huile essentielle est un produit volatile, liquide ou semi-liquide, composé de molécules aromatiques sécrétées par certaines plantes ou certains arbres.

Enfin, pour certains auteurs, les huiles essentielles sont des mélanges de composés lipophiles, volatiles et souvent liquides, synthétisés et stockés dans certains tissus végétaux spécialisés ; elles sont extraites de la plante grâce à des procédés physiques et elles sont responsables de l'odeur caractéristique de la plante (Anonyme, 2005).

3- Répartition, localisation, production et fonction des huiles essentielles

3-1- répartition

Selon Bruneton (1999) et Regnault-Roger (2005), les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs, on les rencontre dans diverses familles botaniques, 17500 espèces aromatiques appartenant à un nombre limité de famille dont notamment les *Myrtaceae* (eucalyptus : *Eucalyptus globulus* Labill., myrte : *Myrtus communis* L.), les *Lamiaceae* (lavande : *Lavandula stoecha* L., menthe verte : *M. spicata* L.), les *Abiaceae* (pin : *Pinus* sp., sapin : *Abies* sp...), les *Apiaceae* (anis vert : *Pimpinella anisum* L., fenouil : *F. vulgare* L.) et les *Lauraceae* (laurier sauce : *Laurus nobilis* L., cannelle : *Cinnamomum zeylanicum* J.Presl.).

3-2- localisation et production

Les huiles essentielles se localisent dans toutes les parties vivantes de la plante, en se formant dans le cytoplasme des cellules spécialisées (Capo et al., 1990).

La synthèse des huiles essentielles revient aux appareils sécréteurs contenus dans les organes végétaux. Ces appareils sont essentiellement les cellules (*Lauraceae*, *Zingiberaceae*...), les poils glandulaires (*Lamiaceae*...) et les canaux sécréteurs (*Apiaceae*, *Asteraceae*...) (Bruneton, 1999 ; Telphon, 2005).

D'après Paris et Moysse (1965) ; Faboricini et Faboricini (1999), les huiles sont stockées dans tous les organes végétaux : bois (bois de rose : *Aniba rosaeodora* Duce), écorces (cannelle : *Cinnamomum zeylanicum* J.Presl.), feuilles (eucalyptus : *Eucalyptus* sp), fruits (anis vert : *Pimpinella anisum* L.), graines (fenouil : *F. vulgare* L.), rhizomes (gingembre : *Zingiber officinalis* Roscoe), ainsi que dans toutes les parties ligneuses des plantes. Elles sont aussi contenues dans tous les produits d'excrétions animales comme la civette ou le musc.

Elles sont souvent plus concentrées dans les brindilles, les fleurs et les graines. Dans une même plante, ces huiles peuvent exister à la fois dans différents organes. Or la composition chimique de ces dernières peut être différente d'un organe à un autre. Ainsi, dans le cas du citronnier (*Citrus limon* (L.) Burm. f.), la fleur et le fruit fournissent des essences de composition chimique différente (Baâli Oumer, 1987).

Les teneurs en huiles essentielles sont généralement très faibles, à l'exception de celle du bouton florale du giroflier (*Syzygium aromaticum* (L.) Merrill et Perry) où le rendement en huile essentielle atteint largement les 15% (Guignard, 2000 ; Makhlouf, 2002).

3-3- fonction

Les huiles essentielles émises par les plantes sous forme de vapeur ont des fonctions multiples dans la nature. Elles interviennent dans les interactions végétaux-animaux en constituant un langage chimique (Sallé, 1991 ; Bruneton, 1999).

Les plantes émettent des molécules volatiles pour attirer les éventuels pollinisateurs et pour repousser d'autres insectes indésirables. Ces essences, qui sont des molécules chimiques naturelles, sont aussi produites pour inhiber la croissance des plantes voisines ayant une implication anti-germinative et une protection face aux maladies et aux parasites (champignons et bactéries). Par ailleurs, elles sont une réserve énergétique pour elles en cas de nécessité. Certaines plantes attirent à elles des insectes qui, friands de leur pollen, vont le transporter jusqu'à leur partenaire en permettant ainsi de perpétuer l'espèce végétale (Guignard, 2000 ; Telphon, 2005).

Pour les plantes des régions désertiques, les vapeurs des huiles satureront l'air autour de la plante et permettent de maintenir une certaine humidité qui empêche la température d'augmenter d'une manière excessive le jour et de baisser au cours de la nuit (Belaiche 1979).

4- Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles diffèrent des huiles grasses, par leurs propriétés physiques et par leur composition, du fait que leurs tâches sur le papier sont passagères.

- Elles sont appréciées pour leurs propriétés organoleptiques (odeur, goût, couleur et aspect), d'où elles sont employées comme matières aromatisantes et parfumantes (Sallé, 1991).
- Les huiles essentielles sont des substances entraînaibles à la vapeur d'eau, solubles dans les solvants organiques, les alcools, liposolubles, et très peu solubles dans l'eau (Paris et Moyse, 1965).
- Elles sont liquides à température ambiante, volatiles et très rarement colorées.
- Leur densité est en général inférieure à celle de l'eau à l'exception de sassafras (*Sassafras albidum* (Nutt.) Nees), du girofle (*Syzygium aromaticum* (L.) Merrill et Perry) et de la cannelle (*Cinnamomum zeylanicum* J.Presl.).
- Elles ont un indice de réfraction élevé puisqu'elles sont composées de molécules asymétriques (Bruneton, 1999).
- Elles sont très sensibles à l'oxydation et elles ont tendance à polymériser, leur point d'ébullition varie de 60 à 240°C.
- Leur densité varie de 0.75 à 1.096, elles dissolvent les graisses, l'iode, le soufre et le phosphore, et elles réduisent certains sels (Valnet, 1980).

5- Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes et éminemment variables de constituants qui appartiennent à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques

distinctes : le groupe des terpènes d'une part et le groupe des composés aromatiques dérivés de phénylpropane beaucoup moins fréquent d'autre part (Bruneton, 1999).

D'après Pibiri (2005), la structure des composées des huiles essentielles est constituée d'un squelette hydrocarboné, constituant une chaîne plus ou moins longue. Sur ce squelette de base sont souvent présents un ou plusieurs sites fonctionnels semblables ou différents (plusieurs sites oxygénés avec un ou plusieurs atomes d'oxygènes et quelques groupes azotés ou soufrés)

5-1- Terpènes

Dans le cas des huiles essentielles, on rencontre les terpènes les plus volatils : mono et sesquiterpènes

5-1-1- Mono terpènes C₁₀

les carbures sont presque toujours présents, ils peuvent être acycliques, monocycliques, ou bicycliques. Ils constituent parfois plus de 90% de l'huile essentielle. On rencontre les alcools, les phénols, les aldéhydes, les esters, les peroxydes et les cétones. Ils sont en grande partie responsables de l'odeur des plantes, fruits et feuilles (Bruneton, 1999 ; Guignard, 2000).

5-1-2- Sesquiterpènes C₁₅

on trouve dans cette série les mêmes composants : carbures, alcools et cétones. Ils se distinguent des autres composés par leurs points d'ébullition élevés (250 à 280°C), une plus forte densité et un indice de réfraction plus élevé (Guignard, 2000).

5-2- Composés aromatiques

Ils sont beaucoup moins fréquents que les précédents, ce sont des dérivés de phénylpropane (C₆-C₃) ; très souvent des allyl- et prophénylphénols, parfois caractéristiques de certaines huiles essentielles d'*Apiaceae* (Anis, Fenouil...) ; et aussi des composés de (C₆-C₁) comme la vanilline (Bruneton, 1999).

5-3- Composés aromatiques d'origines diverses

Il s'agit là de produits résultants de la transformation de molécules non volatiles, ils contribuent souvent aux arômes de fruits.

On peut rencontrer des composés issus de la dégradation des terpènes, des composés issus de la dégradation d'acides gras et d'autres composés azotés ou soufrés (Bruneton, 1999).

6- Facteurs de variabilités des huiles essentielles

D'après Guignard (2000) ; Regnault-Roger (2005) ; Telphon (2005), la teneur et la composition chimique d'une huile essentielle varient en fonction d'un grand nombre de paramètres :

- Selon les organes producteurs des plantes (feuille, fleur, fruit, bois),

- selon l'espèce botanique : la composition chimique et les propriétés des huiles essentielles diffèrent d'une manière importante selon les variétés, exemple : *Lavandula vera* D.C. variété *fragans* (sauvage) et *Lavandula vera* D.C. variété *maillette* (cultivée),
- selon la physiologie (cycle biologique), la proportion de l'huile essentielle élaborée par la plante n'est pas identique à tous les stades de développement,
- selon les facteurs climatiques, la nature du sol, les pratiques culturales, les conditions de culture pour une même souche végétale (ensoleillement, humidité, longueur du jour, fertilité du sol, altitude, etc...),
- selon les différents procédés d'extraction (analytique),
- selon les races chimiques (chimiotypes), la composition chimique des huiles essentielles varie d'une espèce à l'autre et au sein de la même espèce (le thym avec 7 races chimiques).

7- Conservation des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont très volatiles et très fragiles, elles doivent être conservées dans des flacons propres secs en aluminium, en acier inoxydable ou en verre teinté anti actinique, presque entièrement remplis sous gaz inerte, et fermés d'une façon étanche, de préférence auto jointe c'est-à-dire avec un bouchon scellé pour qu'elles ne s'oxydent pas à l'air libre. A la fin, elles sont stockées à l'abri de la lumière et de la chaleur afin d'éviter leur polymérisation.

En général, le délai de conservation peut aller de six mois à trois ans, selon la nature de l'huile essentielle et la qualité du solvant (Sallé, 1991 ; Bruneton, 1999 ; A.F.N.O.R, 2000 ; Anonyme, 2005 ; Telphon, 2005).

8- Toxicité des huiles essentielles

Les huiles essentielles d'usage humain ont une toxicité aigue par voie orale (ingestion), la majorité de celles qui sont couramment utilisées ont une DL 50 comprise entre 2 et 5 g/kg : anis vert (*Pimpinella anisum* L.), eucalyptus (*Eucalyptus* sp.), girofle (*Syzygium aromaticum* (L.) Merrill et Perry), supérieur à 5 g/kg : citronnelle (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf), lavande (*Lavandula* sp.), ou bien une DL 50 comprise entre 1 et 2 g/kg : basilic (*Ocimum basilicum* L.), estragon (*Artemisia dracunculus* L.). La toxicité chronique des huiles essentielles est assez mal connue et les effets secondaires ne sont que rarement signalés (Bruneton, 1999).

Le thym (*Thymus saturejoides* L.), l'origan (*Origanum vulgare* L.) et la sarriette (*Satureja montana* L.) sont connues pour leur pouvoir irritant, la bergamote (*Citrus bergamia* Risso et Poit.) est photo-sensibilisante, la cannelle (*Cinnamomum zeylanicum* J.Presl .) est dermocaustique et allergisante pour les terrains sensibles (Pibiri, 2005).

9- Potentialités phytosanitaires des huiles essentielles

Selon, Kokalis-Burella et Rodriguez-Kabana (2006), les plantes peuvent synthétiser de nombreuses substances chimiques qui sont des métabolites secondaires. Ces dernières interviennent dans les mécanismes de défense de la plante qu'elle produit contre les agents phytopathogènes ainsi que les ravageurs. D'autres part, Regnault-Roger et al ., (2005) signalent que ces composés secondaires possèdent des propriétés antivirales, bactéricides, fongicides, insecticides, herbicides et nématicides connues.

9-1- Effet insecticide

Les propriétés insecticides des plantes ont fait l'objet de nombreux travaux vis-à-vis des insectes appartenant à divers ordres. Selon, Regnault-Roger (2005), l'activité insecticide se manifeste soit par inhalation, par contact ou encore par ingestion. Leur pouvoir anti-appétant retarde la croissance ou encore inhibe l'activité enzymatique.

Au Maroc, L'administration de différentes doses (2 μ l et 3 μ l) de l'huile des graines de *P. harmala* en application topical sous le pronotum de *Schistocerca gregaria* Forsskål (*Orthoptera* : *Acrididae*) provoque une mortalité chez les larves sans engendrer un retard de développement. Par ailleurs, les extraits des feuilles injectés provoquent une modification du comportement des larves et une diminution de la prise de nourriture menant à une diminution du poids (Idrissi-Hassani et al., 2002).

L'effet de l'extrait des feuilles de *P. harmala* aux différents stades végétatifs entraine chez les femelles de *S. gregaria* une diminution de la prise de nourriture, une baisse de poids, un retard de la maturité sexuelle et une forte mortalité (Abbassi et al., 2003).

Les extraits méthanoliques de *F. vulgare* administrés par contact direct à 3.5 mg/cm² sur *Sitophilus oryzae* (L.) (*Coleoptera* : *Curculionidae*) et *Callosobruchus chinensis* (L.)

(*Coleoptera* : *Bruchidae*) entraînent une activité insecticide, celle ci se traduit par un taux de mortalité de 90% après trois à quatre jours de traitement (Kim et al., 2003). Selon ces mêmes auteurs ces extraits agissent essentiellement par fumigation.

Seri-Kouassi a et al., (2004), montrent que l'activité insecticide des huiles essentielles de *Melaleuca quinquenervia* (L.) (*Myrtaceae*) et *Ocimum gratissimum* (L.) (*Lamiaceae*) vis-à-vis de *Callosobruchus maculatus* (F.) (*Coleoptera* : *Bruchidae*) se traduit par une réduction très significative de la ponte chez les femelles par rapport à celle du témoin.

Han et al., (2006), rapportent que l'application des extraits méthanoliques de *F. vulgare* sur les larves d'*Attagenus unicolor* ssp. Reitter. (*Coleoptera* : *Dermestidae*) entraine une mortalité de 67 et 100% à une dose de 5.2 mg/cm² pour une durée de traitement de 21 et 28 jours respectivement.

Les extraits de *P. harmala* appliqués sur le tube digestif du *S. gregaria* se traduisent par une réduction de la musculature circulaire externe entraînant un relâchement de l'intestin et une atrophie de la muqueuse intestinale qui présente un épithélium strié réduit. L'épithélium mésentère présente un aspect granuleux, une brosse bordurée altérée et des signes typiques de nécroses cellulaires (Idrissi-Hassani et Harmes, 2008).

Cosimi et al., (2009), ont démontré l'activité insecticide des huiles essentielles de *Laurus nobilis* L. (*Lauraceae*), *Citrus bergamia* Riss et Poit. (*Rutaceae*), *F. vulgare* et *Lavandula hybrida* L. (*Lamiaceae*) vis-à-vis de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (*Coleoptera* : *Curculionidae*), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), (*Coleoptera* : *Cucujidae*) et *Tenebrio molitor* Linnaeus (*Coleoptera* : *Tenebrionidae*).

L'application des extraits éthanoliques des graines de *P. harmala* sur *Bactrocera oleae* (Rossi) (*Diptera* : *Tephritidae*), a exercé un effet répulsif sur les adultes, et a diminué l'activité de reproduction et la croissance des larves (Rehman et al., 2009).

L'application des extraits de *P. harmala* sur les larves de *Phthorimaea operculella* (Zeller) (*Lepidoptera* : *Gelechiidae*) et *Mysus persicae* Sulzer, (*Homoptera* : *Aphidae*) entraine respectivement une mortalité de 76.6 et 56.6% aux concentrations

de 3200 ppm et 400 ppm. Cette toxicité est attribuée à la présence des glycosides, tanins, alcaloïdes et flavonoïdes (Homam et al., 2009).

En Algérie, plusieurs travaux ont été réalisés afin de tester l'effet de cette plante sur les ravageurs des cultures, Khalfi et al., (2007), ont démontré que l'inhalation l'huile essentielle de *M. spicata* à 0.392 mg/cm² entraîne la mortalité de 100 % de *Rhyzopertha dominica* (F.)(Coleoptera : Bostrichidae).

Tarai et al., (2009) ont observé une mortalité de 96% après un traitement en laboratoire et 72% après pulvérisation de ces extraits sous abri plastique vis-à-vis des adultes *Bemisia tabaci* Gennadius, (Hemiptera : Aleurodidae).

9-2- Effet acaricide

Plusieurs plantes contiennent des composés inhibiteurs efficaces contre les acariens. Ainsi, Kim et al., (2003) mentionnent que les huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* Stapf (*Poaceae*) et *Thymus vulgaris* L. (*Lamiaceae*) à 6.4 µg/cm² entraînent une mortalité de 76 et 84% respectivement par rapport à ces deux acaricides : benzoate de benzyleet N, N-diéthyl-m-toluamide (DEET). A une forte dose de 12.7 µg/cm², une mortalité de 80% de *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (*Acarina* : *Acaridae*) a été enregistrée.

L'application directe de l'huile essentielle de *F. vulgare* sur les adultes de *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank)(*Acarina* : *Acaridae*) entraîne une forte toxicité avec une DL 50 de 4.28 µg/cm² comparée aux acaricides chimiques. Cette action est attribuée essentiellement à la présence du carvone (Lee et al., 2006).

Les huiles essentielles de : *Origanum onites* L., *Thymbra spicata* L. et *Lanandula stoechas* L. (*Lamiaceae*) manifestent une activité acaricide contre *Tetranychus cinnabarinus* Bois (Acarina : Tetranychidae) avec respectivement des doses létales (DL 50) de : 0.53, 0.69 et 2.92 µg/ml (Sertkaya et al., 2010).

9-3- Effet bactéricide

La plupart des travaux réalisés dans ce domaine se sont concentrés sur les bactéries pathogènes des produits alimentaires. Cependant, Laouer et El Kolli (2009) ont rapporté récemment que l'efficacité des huiles essentielles de *Thymus numidicus* (Poiret)(*Lamiaceae*) et *Ammoides pusilla* (Brot.) Breistr. (*Apiaceae*) contre 5 souches de *Pseudomonas syringae* Van Hall, (*Pseudomonadaceae*) se traduit par une forte mortalité particulièrement chez *A. pusilla*. La forte activité bactéricide des extraits de *Azadirachta indica* A.Juss.,(*Meliaceae*),*Zingiber officinalis* Roscoe (*Zingiberaceae*) et *Allium sativum* L. (*Liliaceae*) vis-à-vis de *Xanthomonas campestris* (Pammel 1895) Dowson(*Pseudomonadaceae*) est comparable à celle des traitements chimiques (Opara et Obani, 2010).

9-4- Effet herbicide

Selon Isman, 2006 ; Kohli et al., (2006), les constituants des plantes aromatiques peuvent être explorés pour la création de nouveaux herbicides. Des effets inhibiteurs aussi bien sur les mauvaises herbes que les plantes parasites ont été mentionnés, cette action se traduit par l'inhibition de la germination des graines, la croissance ou encore en affectant la photosynthèse.

Ainsi, l'huile essentielle d'*Eucalyptus citriodora* (Hook.) K.D.Hill et L.A.S.Johnson, (*Myrtaceae*) inhibe la germination à une concentration de 0.5 µl/ml. Néanmoins, la croissance, le contenu chlorophyllien et l'activité respiratoire de *Parthenium hysterophorus* L. (*Asteraceae*) sont réduites de 56.57 et 68% respectivement à une concentration plus faible de 2 µl/ml (Singh et al., 2005).

En ce qui concerne les plantes parasites, l'inhibition de la germination des graines de *Cuscuta campestris* Yunck. (*Cuscutaceae*) par l'application de l'extrait d'*Inula viscosa* (L.) Greuter (*Asteraceae*) a été notée par Dor et Hershenhorn (2004).

Enfin, parmi 31 extraits issus de plusieurs espèces botaniques évaluées vis-à-vis de l'orobanche, seuls les extraits d'*Alium sativum* L. et de *Lavandula stoechas* L. qui se sont révélés efficaces avec une réduction de 91 à 100% respectivement de la germination des graines (Rebouh, 2006).

9-5- Effet virocide

Les extraits de plantes peuvent avoir des effets inhibiteurs contre les virus, cette action se traduit principalement par l'induction de la résistance systémique contre la multiplication des virus notamment ceux transmis par les insectes. A cet effet, nous citons les travaux de Abbs et al., (2006) qui notent que l'application des extraits de *Thuja occidentalis* L. (*Cupressaceae*) et les écorces du *Punica granatum* L. (*Punicaceae*) entraîne une inhibition du virus de la pomme de terre, l'efficacité par pulvérisation de l'extrait de *T. occidentalis* est plus efficace et entraîne une inhibition complète de ce virus à une concentration de 3 g/l après 12 jours d'inoculation.

9-6- Effet fongicide

Dans les recherches sur l'utilisation des plantes à propriétés fongicides, plusieurs plantes ont été une source d'essence à tester sur les champignons phytopathogènes. Ainsi, l'application des extraits éthanolique, hexanique et aqueux de *P. harmala* sur *Botrytis cinerea* Pers. ex Fr. (*Sclerotiniaceae*), *Fusarium culmorum* Link (*Nectriaceae*) et *Rhizoctonia solani* Kühn (*Ceratobasidiaceae*) a montré une inhibition de la croissance mycélienne et de la germination des spores des espèces fongiques testées (Hachemi, 2009).

De même, l'effet inhibiteur des poudres obtenues après broyage des graines de *P. harmala* sur la croissance mycélienne de *Penicillium digitatum* Pers. Sacc., *Penicillium italicum* Wehmer, (*Trichocomaceae*) et *Geotrichum candidum* Link (*Endomycetaceae*) champignons responsables des moisissures sur agrumes a été rapporté par Ameziane et al., (2007).

D'autre part, l'activité fongicide de *F. vulgare* et *Origanum syriacum* L. (*Lamiaceae*) se traduit par l'inhibition de la croissance mycélienne et la réduction du développement de l'infection due à *Sclerotinia sclerotinium* (Lib.) (*Sclerotiniaceae*) de 69 et 53.3% respectivement (Soylu et al., 2007). Ces mêmes auteurs rapportent que l'absence de *S. sclerotinium* révèle l'altération morphologique des hyphes ; ces modifications sont dues à l'effet des traitements et les réactions enzymatiques régulant leur synthèse.

Enfin, Du Plooy et al., (2009), révèlent l'efficacité des huiles de *M. spicata* et *Lippia scaberrima* Trevir. (*Verbenaceae*) contre *Penicillium digitatum* (Pers.) Sacc., (*Trichocomaceae*). Cette efficacité se traduit par une diminution de l'incidence de la maladie sur les oranges, qui se manifeste par la bonne qualité et la diminution de la perte de l'humidité des fruits par rapport à ceux traités avec le fongicide (StarFresh).

9-7- Effet nématocide

Selon Djian-Caporalino et *al.*, (2009), plus de 200 plantes appartenant à 80 familles botaniques sont signalées pour leurs propriétés nématocides.

Plusieurs travaux ont signalé l'efficacité des huiles essentielles vis-à-vis des nématodes. Ainsi, l'huile essentielle de *Pelargonium graveolens* L.(*Geraniaceae*) est efficace vis-à-vis de *M. incognita* avec un taux de mortalité de 100% à une concentration de 826 µl/l (Leela et *al.*, 1992). De même, Perez et *al.* (2003) rapportent l'activité nématocide de l'huile de *Chrysanthemum coronarium* L. (*Asteraceae*) vis-à-vis de *M. artiellia* Franklin.

Oka et *al.*, (2000) ont rapporté que des huiles essentielles extraites à partir des espèces végétales inhibent la mobilité et l'éclosion de *M. javanica*. Egalement, l'huile essentielle de *Chrysanthemum coronarium* L. (*Asteraceae*) a montré une forte activité nématocide contre *M. artiellia* Franklin.

Park et *al.*, (2005), ont signalé l'efficacité de l'huile essentielle d'*Allium sativum* L. contre le nématode du pin *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhrern) Nickle (*Parasitaphelenchidae*).

Une forte activité nématocide des extraits de l'huile essentielle de *Thymus syriacus* Boiss. à des concentrations très faibles de 250 à 500 µl/l sur la mobilité des larves du 2^{ème} stade et l'inhibition de l'éclosion des œufs de *M. arenaria* a été rapportée par Soler-Serratos et *al.*, 1995.

Le potentiel nématocide des extraits éthanoliques, méthanoliques et de l'huile essentielle de *Thymus zygis* (Loefl) L. a été démontré. En effet, le pourcentage de mortalité le plus élevé est celui de l'huile essentielle de *T. zygis* avec 69.7% après 72 heures à une concentration de 100ppm ; *in vivo* ces mêmes extraits ont montré une diminution des populations des *Meloidogyne* dans les racines le sol et l'indice de galles (Echchgadda et *al.*, 2010).

Enfin, de nombreux travaux ont montré une gamme de substances testées comprenant les extraits éthanolique, hexanique et les huiles essentielles appartenant à plusieurs familles botaniques, telles que : *Ruta graveolens* L. (*Rutaceae*) (Sasanelli et *al.*, 2007), *Artemisia vulgaris* L. (*Asteraceae*) (Costa et *al.*, 2003), *Caloptropis procera* Aiton. (*Asclepiadaceae*) (Reina et *al.*, 2002), *Azadirachta indica* A. juss. (*Meliaceae*) (Javed et *al.*, 2007) contre les nématodes et particulièrement contre les *Meloidogyne*.

En Algérie, Sellami et *al.*, (2009) mentionnent l'efficacité des huiles essentielles d'*Origanum glandulosum* Desf., *Artemisia herba alba* Asso. et *Salvia officinalis* L. sur la mortalité des larves et le potentiel d'éclosion des œufs de *M. incognita*. Ces mêmes auteurs attribuent cette toxicité à la richesse en tanins, en saponosides, en alcaloïdes et en flavonoïdes, présents dans les feuilles de ces plantes et mis en évidence par les tests phytochimiques.

Deuxième partie : Partie Expérimentale

Objectif

L'objectif de notre étude consiste à déterminer les potentialités nématocides des huiles essentielles extraites à partir de *M. spicata* et *F. vulgare*, ainsi que les extraits éthanolique, hexanique et aqueux de *P. harmala* sur la mortalité des larves de deuxième stade L2 et le potentiel d'éclosion des œufs de *M. incognita*. Cette étude a été complétée par des tests phytochimiques afin d'identifier les métabolites secondaires de *P. harmala*, de même qu'une analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse «C.G/M.S.» a été réalisée dans le but d'identifier les composés chimiques de *M. spicata* et *F. vulgare*.

I- Matériel et Méthodes

1- Matériel biologique

Pour les essais en laboratoire, nous avons retenu comme nématode, l'espèce *M. incognita* (identifiée par Mezerket, 2005) qui a été prélevée à partir des échantillons de tomate infestée dans la région de Tipaza. En vue d'avoir le matériel biologique disponible pour notre expérimentation, nous avons procédé à l'élevage de cette espèce en laboratoire selon les étapes suivantes :

- **Elevage des *Meloidogyne* :**
- **Préparation des plantules :** Le semis a été effectué dans des bacs qui contiennent du terreau préalablement stérilisé. Nous avons choisi des tomates infestées de la variété : Marmande, qui est très sensible aux nématodes. Quelques jours après, ces plants ont été repiqués au stade de trois à quatre feuilles dans des pots en plastique de 8 cm de diamètre contenant un mélange de terre et de terreau stérilisé (2/3, 1/3).
- **Obtention des larves de deuxième stade :** Les larves de 2^{ème} stade L2, extraites à partir des masses d'œufs sont prélevées au niveau des galles sur des racines de tomate infestée. Ensuite, elles sont mises dans des éclosoirs pendant quelques jours.
- **L'inoculation :** Quelques jours après le repiquage, nous avons réalisé l'inoculation sur chaque plantule à partir des larves de 2^{ème} stade L2, à raison de 500 L2 par pot. Les pots ont été mis en laboratoire pendant six à huit semaines à une température allant de 20 à 25°C. Nous avons renouvelé l'opération régulièrement afin d'obtenir le matériel biologique (nématodes) nécessaire tout au long de l'expérimentation ;

2- Les nématocides utilisés

Le choix des deux nématicides, l'Ethoprophos (Mocap à 10% de Ma à une dose de 50 kg/ha) et le fénamiphos (Némacur à 10% de Ma à une dose de 30 kg/ha) est dû à leur disponibilité sur le marché ainsi qu'à leur large utilisation par les agriculteurs (annexe 1).

3- Matériel végétal

- **Origine des plantes** : durant notre travail, nous nous sommes intéressés à plusieurs plantes appartenant à différentes familles botaniques à savoir : le fenouil (*F. vulgare*) de la famille des *Apiaceae* prélevé à Rouiba (wilaya d'Alger), la menthe verte (*M. spicata*) appartenant à la famille des *Lamiaceae* de la wilaya de Ouargla et le harmel (*P. harmala*) qui appartient à la famille des *Zygophyllaceae*, provenant de Boussâada (wilaya de M'sila).
- **Caractéristiques des plantes utilisées** : les caractéristiques des plantes utilisées sont consignées sous formes de fiches techniques (annexe 2).

4- Extraction des extraits à partir des plantes

- **Le séchage du matériel végétal** : la plante aromatique : *M. spicata* utilisée au cours de notre expérimentation a été cueillie avant floraison. En revanche *P. harmala* et *F. vulgare* ont été prélevés en été après maturation des fruits. Après cette étape, nous avons procédé au séchage du matériel végétal dans un endroit sec, bien aéré, à l'abri de la lumière pendant une période allant d'une semaine jusqu'à deux semaines (selon l'état de la plante).

4-1- L'extraction par solvants

La méthode utilisée dans nos essais est celle de Soxhlet préconisée par Léger (1989). Cette méthode, nous permet l'extraction des composés organiques d'une matrice solide, elle peut être utilisée pour des échantillons secs ou humides. Le type de composés dépendra extraits de la nature du solvant utilisé ainsi que le type de l'extracteur en continu. On obtient des infusions et des teintures si le solvant est conservé, des résinoides et des concrètes si le solvant est éliminé, des hydrolysats (extraction par solvant en présence d'eau) et des alcoolats (extraction avec de l'éthanol dilué)(figure 3).

- **Principe de l'extraction** : lorsque le ballon est chauffé, les vapeurs du solvant passent par le tube adducteur, se condensent au niveau du réfrigérant et tombent dans le corps de l'extracteur, faisant ainsi macérer le solide dans le solvant (chauffé par les vapeurs se trouvant en dessous). Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à atteindre le sommet du tube siphon, qui provoque alors le retour du liquide dans le ballon, accompagné des

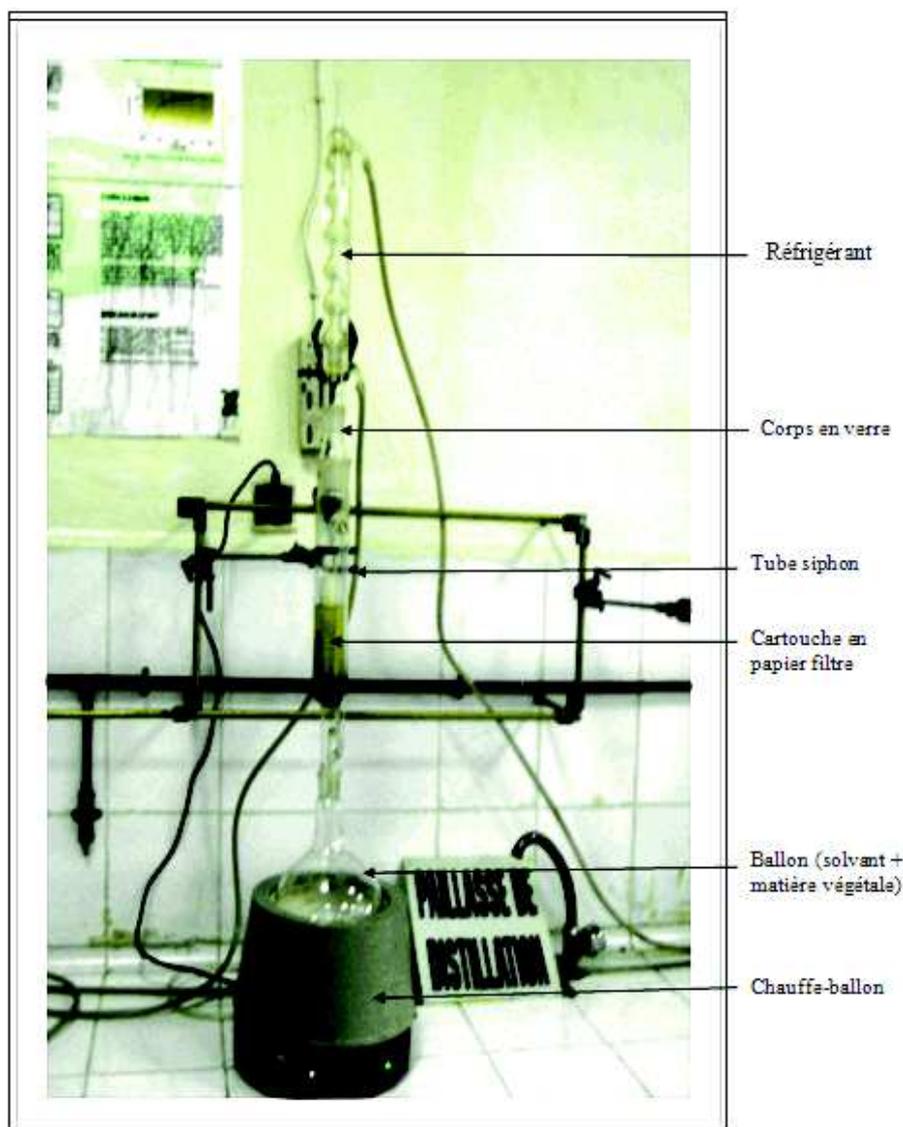


Figure 3 : Dispositif de l'extraction par solvant (Soxhlet) (Léger, 1989).

substances extraites et le solvant contenu dans le ballon s'enrichit progressivement en composés solubles. Les composés organiques demeurent dans le ballon où ils sont concentrés au cours des différents cycles. Le cycle peut se répéter indéfiniment, jusqu'à épuisement complet du solide, d'où l'efficacité remarquable de cette technique par rapport à la simple macération (Anonyme, 1984 ; Léger, 1989).

L'échantillon est concassé en fines particules, puis il est pesé et rempli aux 3/4 au maximum dans la cartouche d'extraction qui est tarée auparavant (le choix de la cartouche dépend de la taille de l'extracteur Soxhlet). Les solvants les plus utilisés sont les solvants non polaires (qui ont une faible polarité), tels que : l'hexane, l'éther diéthylique, l'éther de pétrole etc... . Pour notre expérimentation, nous avons choisi les solvants suivants : l'éthanol, l'hexane et l'eau. Les extraits obtenus sont mis dans des flacons en verre fermés hermétiquement (Anonyme, 1984 ; Léger, 1989).

4-2- L'extraction par hydrodistillation

Il existe plusieurs procédés d'extraction des plantes aromatiques qui permettent la récupération des huiles essentielles. Pour nos essais nous avons utilisé l'extraction par hydrodistillation. C'est une technique qui consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter dans un alambic rempli d'eau et le porter à ébullition. Les vapeurs d'eau formées au sein de l'eau bouillante entraînent l'huile essentielle qui est recueillie après condensation et décantation (Paris et Moyses, 1965 ; Anonyme, 2008).

Mode opératoire : Selon Benyoucef et *al.*, (2004a), le protocole opératoire adopté est le suivant : Le matériel végétal (environ 100 g) baignant dans l'eau bouillante pendant 90 mn dans un ballon à col rodé muni d'un chauffe-ballon et relié à un réfrigérant. Les vapeurs d'eau ainsi produites entraînent les constituants volatils et après condensation et refroidissement dans le réfrigérant, elles sont recueillies dans un erlenmeyer. L'huile essentielle est ensuite séparée du distillat par extraction liquide-liquide au moyen de l'éther diéthylique (Figure 4).

Pour éliminer toute trace d'eau dans la phase organique, celle-ci est traitée par du sulfate de sodium anhydre. Après évaporation de l'éther diéthylique, l'huile essentielle est conservée à basse température, à l'abri de la lumière dans des flacons ombrés et hermétiquement clos pour éviter toute dégradation.

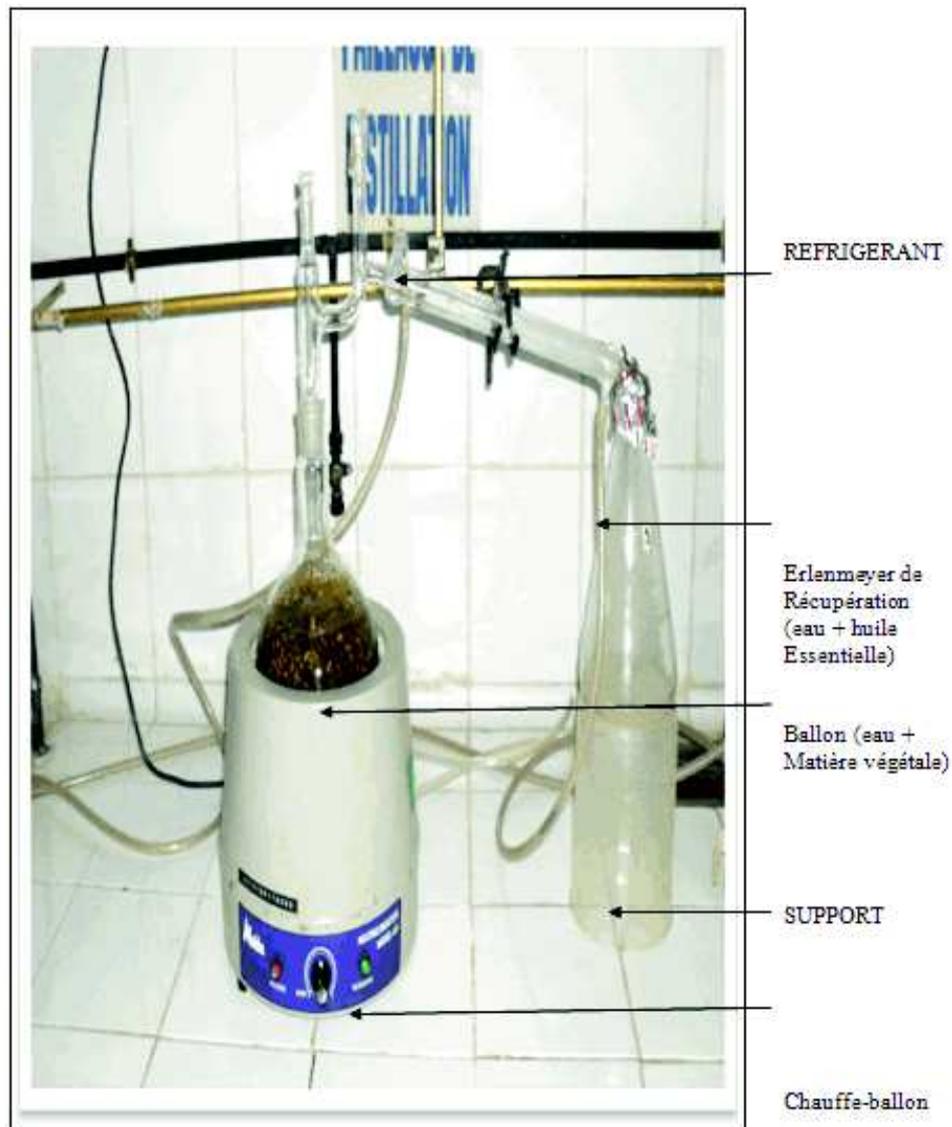


Figure 4 : Dispositif de l'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation (Cleavenger) (Benyoucef et al., 2004a).

5- Traitements

Les doses utilisés pour les extraits éthanolique, hexanique et aqueux de *P. harmala* sont 25, 50, 100%, les témoins sont représentés respectivement par l'éthanol, l'hexane et l'eau. En ce qui concerne les huiles essentielles de *F. vulgare* et de *M. spicata*, les concentrations utilisées sont : 50, 100, 200, 400 et 800 µl/l. Les témoins sont représentés par le méthanol à 10% avec 0.3% de tween 20 préconisée par Leela et al., (1992) ; les nématocides: l'Ethoprophos et le fénamiphos ont été utilisés pour tous les traitements.

6- Effet des extraits de *F. vulgare*, *M. spicata* et *P. harmala* sur la mortalité des larves du deuxième stade (L2) de *M. incognita*

Dans des boîtes de Pétri quadrillées de 5 cm de diamètre, nous avons mis une moyenne de 100 L2, larves âgées de 24 à 48 h par boîte, contenant 5 ml de chacune des solutions : éthanolique, hexanique et aqueuse à différentes doses : 25, 50 et 100%, nous avons réalisé trois répétitions pour chaque traitement (extraits des feuilles et des fruits de *P. harmala*). L'effet de ces extraits est comparé avec les solvants suivants : l'éthanol, l'hexane et l'eau ainsi qu'aux nématicides l'Ethoprophos et le Fénamiphos comme témoins.

Concernant les huiles essentielles de *F. vulgare* et de *M. spicata* nous avons réalisé trois répétitions à des doses de 50, 100, 200, 400 et 800 µl/l. Elles ont été préparées à partir de la solution mère par dilution dans du méthanol. L'efficacité de ces traitements est comparée à un mélange contenant du méthanol à 10% avec une solution de 0.3% de tween 20, ainsi qu'à des solutions de l'Ethoprophos et du Fénamiphos utilisés comme témoins.

Le taux de mortalité est déterminé après 24, 48 et 72 heures et l'incubation a été réalisée à température ambiante. Le comptage des larves mortes a été fait sous loupe binoculaire. Les résultats sont exprimés en pourcentage de mortalité selon la formule suivante :

$$\text{Le pourcentage de mortalité (\%)} = \left(\frac{\text{Nombre des nématodes morts}}{\text{Nombre totale des nématodes}} \right) 100$$

7- Effet des différents extraits de *F. vulgare*, *M. spicata* et de *P. harmala* sur l'éclosion des œufs de *M. incognita*

L'objectif de cet essai est de tester l'efficacité des extraits des feuilles et des fruits de *P. harmala*, ainsi que les huiles essentielles de *M. spicata* et de *F. vulgare* sur l'éclosion des œufs de *M. incognita*. Dans chaque éclosoir, nous avons mis une masse d'œufs prélevée à partir des racines de tomate infestée issus de l'élevage de *M. incognita* et 5 ml de chaque solution obtenue à partir des :

- extraits éthanolique, hexanique et aqueux de *P. harmala* à différentes doses : 25, 50 et 100 %, comme témoins nous avons utilisé respectivement l'éthanol, l'hexane et l'eau.
- huiles essentielles de *M. spicata* et de *F. vulgare*, les doses sont de l'ordre de 50, 100, 200, 400 et 800 µl/l, comme témoin un mélange contenant du méthanol à 10% avec une solution de 0.3% de tween 20 et les deux nématicides cités précédemment. Pour chaque traitement nous avons réalisé quatre répétitions. Le comptage des larves éclos a été effectué après : 01, 04, 08 et 12 jours sous loupe binoculaire.

8- Traitement des résultats

L'efficacité d'un produit biocide sur une population donnée est évaluée par la mortalité de cette dernière. Pour chaque extrait, le pourcentage moyen de mortalité des larves est calculé. Les résultats sont exprimés en pourcentage de mortalité corrigée.

Cependant le nombre d'individus dénombrés morts dans une population traitée par un toxique n'est pas le nombre réel d'individus tués par ce toxique. Il existe une mortalité naturelle qui vient s'ajouter à la mortalité provoquée par ce toxique. Le taux de mortalité corrigé est calculé selon la formule de Finey (1975).

$$\text{Pourcentage de mortalité corrigée MC \%} = \frac{M2 - M1}{100 - M1} \times 100$$

- **M1** : pourcentage de mortalité observée dans le témoin.
- **M2** : pourcentage de mortalité observée dans la population traitée.
- **MC** : pourcentage de mortalité corrigée.

Au cours de notre essai, les résultats obtenus sont transformés en probits (Abbott, 1925), et ce afin de pouvoir tracer les droites de régression en fonction des logarithmes décimaux des doses utilisées (25, 50 et 100% de la solution mère) pour les extraits des feuilles et des fruits de *P. harmala*, et 50, 100, 200, 400 et 800 µl pour les huiles essentielles de *F. vulgaris* et *M. spicata*. L'efficacité des extraits testés est effectuée par la détermination de :

- La DL 50 de mortalité (dose létale à laquelle 50% de la population traitée meurt) et la DL 50 de l'inhibition de l'éclosion (dose létale à laquelle l'éclosion de 50% de larves est inhibée).
- Le TL 50 de mortalité (temps létal à partir duquel 50% de la population traitée meurt).

9- Tests phytochimiques (screening phytochimique)

Ces tests sont effectués afin de mettre en évidence les métabolites secondaires de *P. harmala*. Les essais chimiques de caractérisation ont porté sur la recherche de ces métabolites sur les feuilles et les fruits de la plante testée (annexe 3 et 4). Ils nous permettent d'avoir des informations sur la composition chimique du végétal, ils ont été réalisés en utilisant principalement des réactions chimiques. Les résultats sont classés selon des techniques utilisées et décrites par Anonyme (1991) et Dohou et al., (2003).

- : Nulle, + : faible, ++ : Moyennement riche, +++ : Riche.

Ces tests sont effectués sur :

- la poudre (broyat) : la plante est finement moulue en très fines particules.
- l'infusé : 100 ml d'eau distillée sont portés à ébullition pendant 15 mn, dans cette eau bouillante 20 g de poudre sont mises à infuser pendant 20 mn, après nous avons filtré le mélange. A la fin, le filtrat a été ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée.
 - **Recherche des alcaloïdes** : 5 g de poudre séchée et pulvérisée sont humectés avec de l'ammoniaque ½ et un mélange de 50 ml éther/ chloroforme (1/3) ; après 24 h de macération ce mélange est filtré puis puisé par l'acide chlorhydrique 2N. Des réactions de précipitations apparaissent sur la solution chlorhydrique, la présence des alcaloïdes est révélée par le réactif de Dragendorff qui indique un précipité rouge.
 - **Recherche des anthocyanes** : dans 10 ml d'éthanol nous avons mis 1 g de poudre végétale, le mélange est porté à ébullition pendant 10 mn, après la filtration, nous avons ajouté le zinc métallique et quelques gouttes de l'acide chlorhydrique. Une coloration rouge se développe en présence des anthocyanes.
 - **Recherche des coumarines** : 2 g de poudre sont mis dans 20 ml d'éthanol pendant 15 mn sous reflux. Après ce temps le mélange est

filtré. A 5 ml de ce filtrat nous avons ajouté 10 gouttes de la solution alcoolique d'hydroxyde de potassium à 10 % et quelques gouttes d'acide chlorhydrique à 10 %. La formation d'un trouble indique la présence des coumarines.

- **Recherche des flavonoïdes** : à 5 ml d'infusé nous avons additionné 5 ml d'acide chlorhydrique, un coupeau magnésium et 1 ml d'alcool isoamylique. La mise en évidence des flavonoïdes est révélée par une coloration rouge orangé.
- **Recherche des glucosides** : quelques gouttes d'acide sulfurique sont ajoutées à 2 g de poudre. La formation d'une coloration rouge brique ensuite violette montre la présence des glucosides.
- **Recherche des leuco anthocyanes** : 2 g de poudre sont mis dans 20 ml d'un mélange de propanol/acide chlorhydrique, ensuite ils sont portés au bain marie bouillant pendant quelques minutes. Une coloration rouge se développe indiquant la présence des leuco anthocyanes.
- Recherche des quinones :
- **Quinones libres** : 2 g de poudre humectés avec 2 ml d'acide chlorhydrique, ensuite ils sont mis en contact dans 20 ml de chloroforme. Après 3 heures nous avons filtré le mélange, ce filtrat est agité avec 5 ml d'ammoniaque $\frac{1}{2}$. L'apparition d'une coloration rouge nous indique la présence des quinones libres.
- **Quinones combinées** : nous avons additionné 5 ml d'acide sulfurique 2N à 2 g de poudre et nous les avons portés à reflux pendant 2 h. La solution extractive est filtrée puis épuisée par 20 ml de chloroforme, ce mélange chloroformique est évaporé à sec puis épuisé par l'ammoniaque $\frac{1}{2}$. La réaction donne une coloration rouge en présence de quinones combinées.
- **Recherche des saponosides** : dans une fiole nous avons introduit 5 ml d'acide chlorhydrique 0.1N, et dans une autre fiole nous avons mis 5 ml d'hydroxyde de sodium 0.1N. A la fin nous avons ajouté dans chacune d'elle 2 à 3 ml d'infusé. Une mousse se développe en présence de saponosides.
- **Recherche des sénosides** : dans une fiole conique nous avons introduit 2.5 g de poudre, puis nous avons ajouté 50 ml d'eau distillée et 2 ml d'acide chlorhydrique. Le mélange est chauffé dans un bain marie pendant 15 mn. Après refroidissement et agitation avec 40 ml d'éther, la couche étherée est séparée et séchée avec le sulfate de sodium anhydre puis évaporée à siccité. Au résidu refroidi nous avons ajouté 5 ml d'ammoniaque $\frac{1}{2}$, ensuite nous avons procédé au chauffage de cette solution au bain marie pendant 2 mn. Une coloration violette rouge apparait en présence des sénosides.
- **Recherche des tanins** : la présence des tanins est mise en évidence par l'addition de quelques gouttes d'une solution de chlorure de fer à 5 % à 5 ml d'infusé. En présence des tanins une coloration bleu noir se développe.

- **Tanins catéchétiques** : 15 ml d'infusé sont additionnés à 7 ml de réactif de Stiasny. La réaction donne une coloration rouge en présence des tanins catéchétiques.
- **Tanins galliques** : à 5 ml d'infusé nous avons ajouté 2 g d'acétate de sodium et quelques gouttes de chlorure de fer. Une coloration bleu foncé apparaît en présence des tanins galliques.

10- Analyse analytique des huiles essentielles par la technique de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

La meilleure carte d'identité quantitative et qualitative d'une huile essentielle reste cependant le profil chromatographique en phase gazeuse. Il permet de connaître très exactement la composition chimique.

Une huile essentielle pure et naturelle est caractérisée par sa composition strictement «végétale», contrairement aux essences synthétiques ou «identiques naturelles» intégralement reconstituées à partir de composés chimiques de synthèse (Pibiri, 2005). Afin de connaître la composition chimique de ces huiles, nous avons procédé à leur identification par chromatographie en phase gazeuse de type Hewlett-Packard (série HP 6890) couplée à la spectrométrie de masse (série HP 5973) (C.G/M.S.) (figure 5).

La chromatographie en phase gazeuse est réalisée grâce à un appareil sophistiqué qui permet d'identifier les molécules aromatiques présentes dans une huile essentielle (jusqu'à 450 molécules aromatiques).

Le graphique fourni par le chromatographe comporte une série de pics ; chaque pic représente une molécule aromatique bien spécifique qui est identifiée par un logiciel spécialisé.

La spectrométrie de masse détermine la proportion relative (la composition élémentaire d'un échantillon, la structure des molécules organiques, inorganiques, et biologiques) de chacune des molécules aromatiques d'une huile essentielle (composition quantitative et qualitative).

L'échantillon dès qu'il est injecté au niveau de la chromatographie en phase gazeuse à l'aide d'une seringue, il rencontre un gaz vecteur (hélium ou azote) qui sert à le transporter depuis l'injecteur jusqu'au détecteur.

A la fin, les différents constituants sont séparés en fonction de leur polarité ou de leur volatilité, ensuite ils sont identifiés à l'aide de la spectrométrie de masse (De Hoffman et *al.*, 1999).

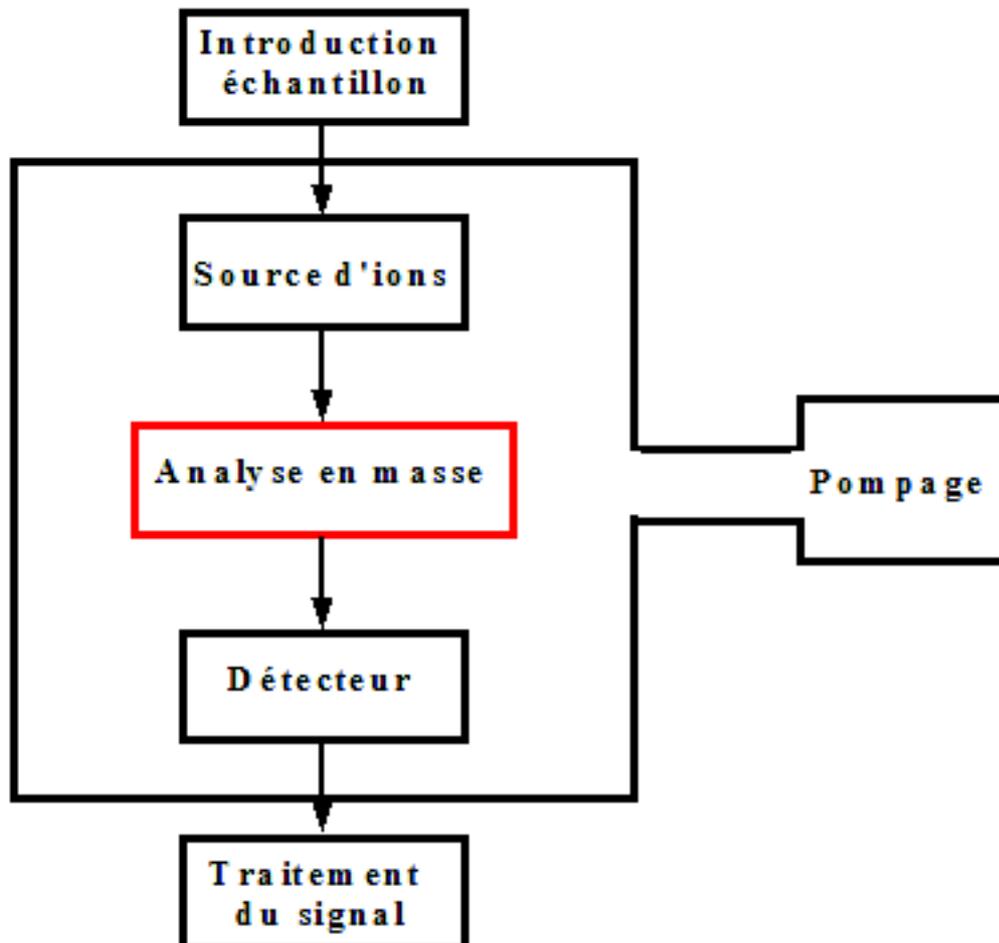


Figure 5 : Dispositif de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (De Hoffman et al., 1999).

Troisième partie : Résultats et Discussion

I- Résultats

1- Effet des huiles essentielles *F. vulgare* et de *M. spicata* sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita*

Les résultats de l'effet des huiles essentielles sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita* sont représentés dans le tableau I.

Tableau I : Effet des huiles essentielles de *F. vulgare* et *M. spicata* sur la mortalité des larves (L2) de *M. incognita*.

Plantes testées et temps d'exposition	Pourcentage de mortalité corrigée					Probits				
	Doses (µl/l)					Doses (µl/l)				
	50	100	200	400	800	50	100	200	400	800
<i>F. vulgare</i> 24h 48h 72h	28.33 43.89 55.16 69.55 79.96	17.02 29.68 33.44 40.78 47.20	44.53 51.15 54.32 56.57 57.52	54.98	6.33					
Némacur (T.C) 24h 48h 72h	61.66	68 75				5.30	5.47	5.67		
Mocap (T.C) 24h 48h 72h	54 59.66	67				5.08	5.21	5.39		
Témoin (Tween +éthanol) 24h 48h 72h	2.33	3 5								
<i>M. spicata</i> 24h 48h 72h	9.59 12.18 20.10 27.19 31.67 41.54 46.25 54.25 67.83 87.33 93.01	10.43 13.54 16.65 19.76 22.87 25.98 29.09 32.20 35.31 38.42 41.53	42.64 45.75 48.86 51.97 55.08 58.19 61.30 64.41 67.52 70.63 73.74	74.85 77.96 81.07 84.18 87.29 90.40 93.51 96.62 99.73	5.97					
Némacur (T.C) 24h 48h 72h	68 73.33	81.66				5.47	5.62	5.91		
Mocap (T.C) 24h 48h 72h	55.33	61.66 68.33				5.14	5.3	5.48		
Témoin (Tween +éthanol) 24h 48h 72h	2.66	4.33 5.33								

La lecture du tableau I montre que les huiles essentielles des plantes testées présentent une activité nématocide vis-à-vis de *M. incognita* qui augmente en fonction des doses et de la période d'exposition.

Avec la dose la plus élevée (800 µl) et pour une période d'exposition de 72 heures, les taux de mortalité enregistrés sont respectivement de : 90.87 et 83.45% pour *F. vulgare* et *M. spicata*. Aux moyennes doses (200 et 400 µl) et pour la même période, il dépasse largement les 70% pour le *F. vulgare* et il oscille entre 56 et 79% pour *M. spicata*.

Par contre, après 48 heures d'exposition et pour ces mêmes doses, les taux de mortalité sont respectivement de 78.05 et 83.84% pour *M. spicata* et *F. vulgare*.

Pour ces mêmes doses mais après 24 heures, le taux de mortalité est de 56.66 % pour le *F. vulgare* et 31% pour *M. spicata*.

Aux faibles doses (100 et 50 µl), ce taux est supérieur à 50% pour *F. vulgare*. En revanche, il est inférieur à 25% pour *M. spicata* après 72 heures d'exposition.

Après 24 heures d'exposition, l'huile essentielle de *F. vulgare* présente un taux de mortalité inférieur à 40% pour les plus faibles doses 50 et 100 µl, alors qu'il dépasse largement 50% pour les moyennes et les fortes concentrations (200, 40 et 800 µl). Or pour l'huile de *M. spicata* le taux est très faible avec moins de 25% pour les faibles doses, et un taux de mortalité dépassant les 50% pour les autres doses.

Concernant le témoin, la majorité des larves est restée vivante, seuls 2.33 à 5.33% sont inactives. De même, nous relevons que le taux de mortalité dû au traitement chimique (némacur) est élevé ; il varie entre 60 et 80% comparé à celui du mocap qui est compris entre 52 et 66% pour les trois périodes d'exposition.

Par conséquent, on remarque que l'huile essentielle de *F. vulgare* agit avec une rapidité importante et une grande efficacité par rapport à celle de *M. spicata*.

L'efficacité de ces huiles essentielles a été également estimée par les DL 50 représentées par les droites de régression indiquées dans les figures 6 et 7. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau II.

Huiles essentielles testées	DL 50 (µl/l)		
	24 h	48 h	72 h
<i>F. vulgare</i>	189.59	86.91	58.58
<i>M. spicata</i>	319.55	245.35	180.66

Tableau II : Résultats des DL 50 pour la mortalité des larves de *M. incognita* (les huiles essentielles de *F. vulgare* et *M. spicata*).

L'analyse des DL 50 après 24, 48 et 72 heures d'exposition montre qu'elles sont pour l'huile de *F. vulgare* supérieures à la dose minimale de l'essai de (50 µl/l). Toutefois pour cette même dose, les taux de mortalité obtenus ne dépassent les 50%. Par contre à une dose inférieure moins à 100 µm/l et pour les périodes de 48 et 72 heures, nous avons enregistré une mortalité excédant les 50% de la population traitée par cette huile. Concernant *M. spicata*, la DL 50 après 48 et 72 heures d'exposition s'avère proche de la dose moyenne (180.66 et 245.35 µl/l), par contre elle est de 319.55 µl/l après 24 heures d'exposition.

Pour tous les traitements, les valeurs des DL 50 sont inversement proportionnelles avec les temps d'exposition. En effet, après 72 heures les doses nécessaires pour provoquer une mortalité de 50% sont plus faibles que celles de 24 et 48 heures. Les DL 50 les plus faibles sont été notées avec l'huile essentielle de *F. vulgare* avec 58.58 µl/l après 72 heures d'exposition.

La régression du logarithme du temps en fonction des probits permet de déterminer les TL 50 des deux huiles essentielles avec une dose de 800 µl/l de la solution mère (figures : 8 et 9, tableau III).

Tableau III : Résultats des TL 50 pour la mortalité des larves de *M. incognita* à 800 µl/l (les huiles essentielles de *F. vulgare* et *M. spicata*).

Huiles essentielles testées	TL 50 à 800 µl/l (heures)
<i>F. vulgare</i>	11 heures et 54 minutes
Némacur	10 heures
Mocap	18 heures et 11 minutes
<i>M. spicata</i>	30 heures et 59 minutes
Némacur	07 heures et 32 minutes
Mocap	15 heures et 42 minutes

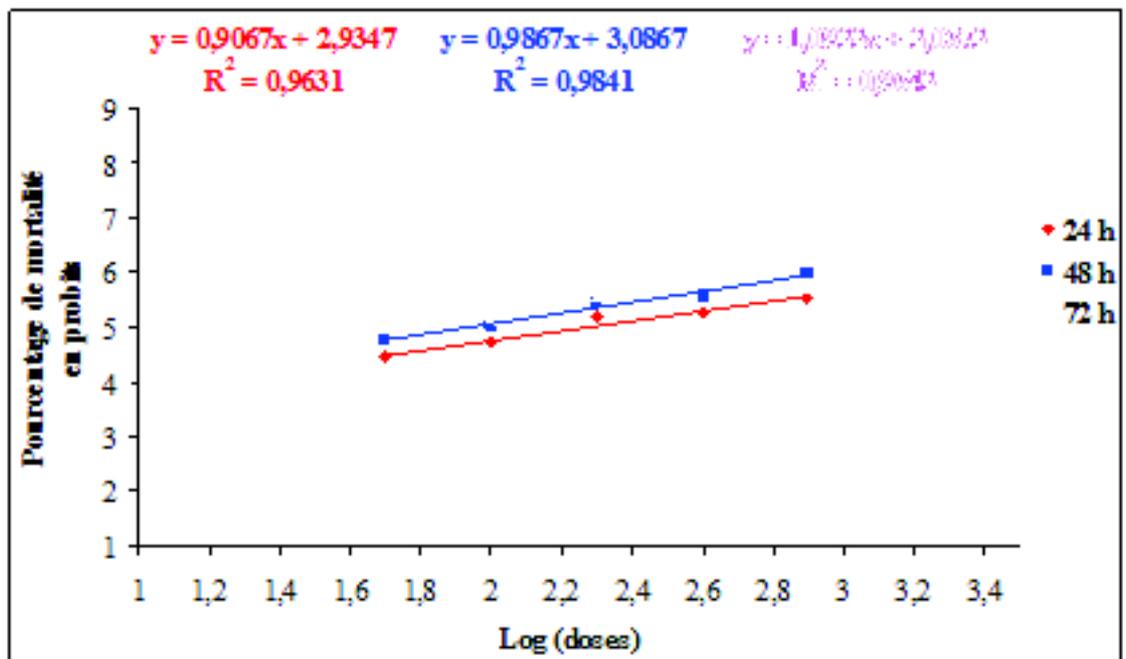


Figure 6 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'huile essentielle de *F. vulgare* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

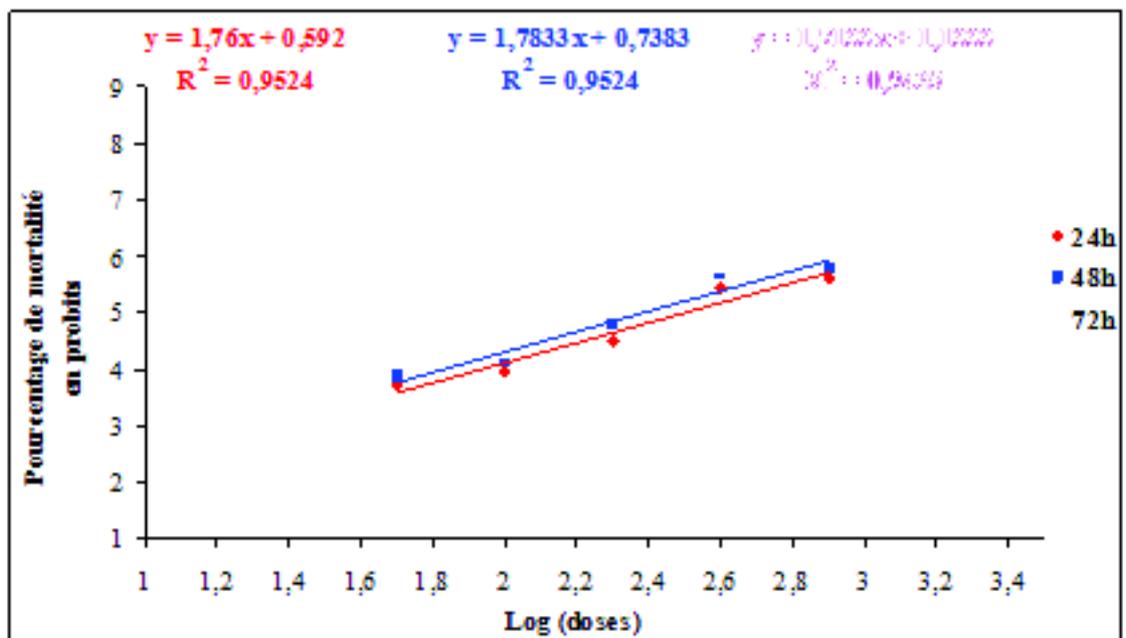


Figure 7 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'huile essentielle de *M. spicata* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

L'effet choc est la mortalité de plus de 50% de la population traitée durant une période d'au moins 24 heures. Pour *F. vulgare* la TL 50 obtenue est de 11 heures et 54 minutes, tandis que *M. spicata*, il atteint 3 heures et 59 minutes. De ce fait, l'effet choc le plus élevé a été enregistré chez *M. spicata*. Les traitements chimiques (le némacur et le mocap) enregistrent les TL 50 les plus élevées, elles sont de 7 heures et 32 minutes et 15 heures et 42 minutes pour le némacur et le mocap respectivement.

Tableau IV : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport l'huile essentielle de *F. vulgare* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes									
D800	90.875	A									
D400	80.000		B								
Ném	75.000				C						
D200	71.222				C						
Moc	67.000						D				
D100	55.795								E		
D50	51.585								E		
T	5.000										F

Tableau V : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport l'huile essentielle de *M. spicata* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes									
D800	83.455	A									
Ném	81.667	A									
D400	78.875	A									
Moc	68.333		B								
D200	56.333				C						
D100	23.595						D				
D50	20.080						D				
T	5.333									E	

L'analyse de la variance basée sur le test de Newman-Keuls (tableaux IV et V) montre que les moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition des huiles essentielles de *F. vulgare* et de *M. spicata* sont significativement différentes de celles du témoin pour toutes les doses (annexe 5).

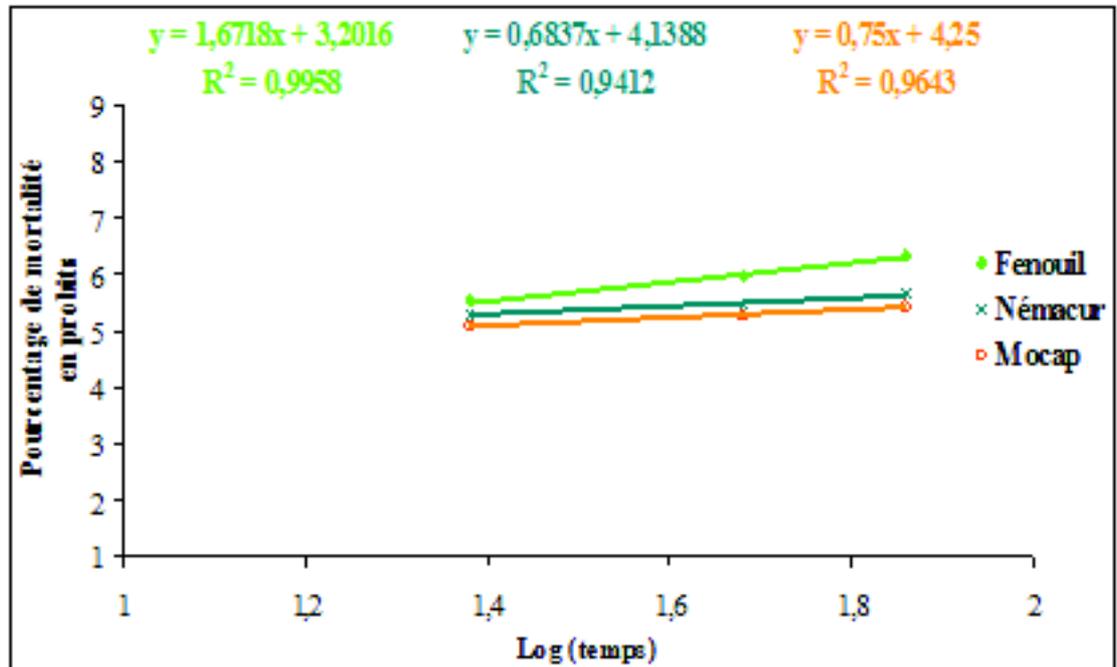


Figure 8 : Efficacité l'huile essentielle de *F. vulgare* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

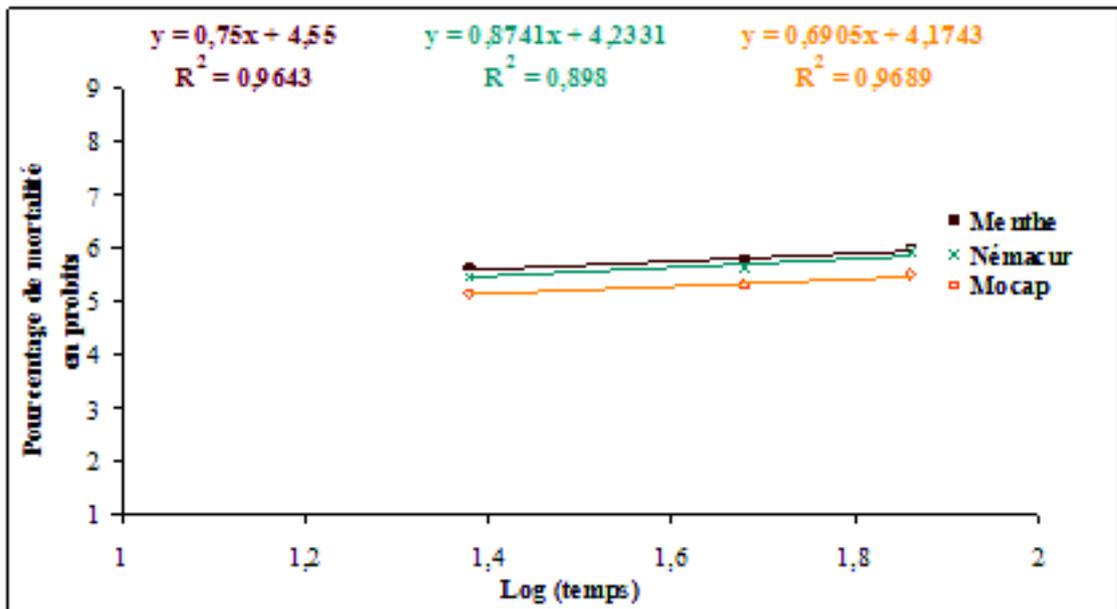


Figure 9 : Efficacité de l'huile essentielle de *M. spicata* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

2- Effet des extraits des feuilles de *P. harmala* sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita*

Les résultats de l'effet des différents extraits des feuilles de *P. harmala* sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita* sont consignés dans le tableau VI.

De la lecture du tableau VI, il ressort qu'aux doses de 50 et 100% de l'extrait éthanolique obtenu à partir de feuilles de *P. harmala*, le taux de mortalité est de l'ordre de 66.66 et 75.25% respectivement pour une durée de 24 heures et il est de 32.64% seulement pour cette même période d'exposition avec la dose 25%.

Quant au témoin, il enregistre un taux de mortalité très faible de 3 à 5.66%, les traitements chimiques enregistrent une mortalité de 65.33 à 78% et pour le némacur et un taux de 47.66 à 65.33% concernant le mocap pour les trois périodes d'exposition.

Concernant l'extrait hexanique de feuilles de *P. harmala*, le pourcentage de mortalité est respectivement de 60.43 à 66.42% après 48 et 72 heures à la dose de 100%. Pour les autres doses (25 et 50%), ainsi que toutes les durées d'exposition, il est compris entre 24 et 55%.

Après une durée de 72 heures, le némacur et le mocap enregistrent un pourcentage de mortalité de 70.33 et 55.66% respectivement.

Pour le témoin, la majorité des larves est restée vivante, 4.66 à 8.66% étaient inactives après les trois périodes d'exposition.

Pour l'extrait aqueux, le taux de mortalité est moyen pour les doses de 50 et 100%, il varie entre 39 et 68.7%, alors qu'il est de 19.66 à 29.24% pour une dose de 25%.

Le mocap et le némacur enregistrent un pourcentage de mortalité variant entre 48.33 et 75 % respectivement. Pour le témoin, seulement 2% des larves est restée vivante après les trois périodes d'exposition.

Tableau VI : Effet des extraits des feuilles de *P. harmala* sur la mortalité des larves (L2) de *M. incognita* .

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

Plantes testées et temps d'exposition	Pourcentage de mortalité corrigée			Probits		
	Doses			Doses		
	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)
Extrait éthanolique (feuilles) 24h 48h 72h	32.64 44.25 56.53	44.25 56.53 71.75	56.53 71.75 85.81	4.33 4.85 5.03	5.03 5.57 5.68	5.89 6.52
Némacur (traitement chimique) 24h 48h 72h	65.66 71.33 78			5.32 5.49 5.64		
Mocap (traitement chimique) 24h 48h 72h	47.66 51 65.33			4.94 5.03 5.4		
Témoin (éthanol) 24h 48h 72h	3 4.33 5.66					
Extraits hexanique (feuilles) 24h 48h 72h	22.38 30.21 40.65	40.65 49.63 55.83	55.83 63.38 68.42	4.28 4.78 4.99	5.15 5.26 5.42	
Némacur (traitement chimique) 24h 48h 72h	55.33 65 70.33			5.13 5.39 5.51		
Mocap (traitement chimique) 24h 48h 72h	46.33 48 55.66			4.91 4.95 5.14		
Témoin (hexane) 24h 48h 72h	4.66 7.33 8.66					
Extrait aqueux (feuilles) 24h 48h 72h	19.66 24 29.24	29.24 38.66 52.73	38.66 52.73 63.38	4.29 4.47 4.96	5.02 5.34 5.49	
Némacur (traitement chimique) 24h 48h 72h	53.33 68.66 75			5.08 5.49 5.67		
Mocap (traitement chimique) 24h 48h 72h	48.33 53 64.66			4.96 5.08 5.38		
Témoin (eau) 24h 48h 72h	0 0 2					

3- Effet des extraits des fruits de *P. harmala* sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita*

Dans le tableau VII sont consignés les résultats de l'effet des extraits des fruits de *P. harmala* sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita*.

Après 24 heures d'exposition, l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* aux trois doses traitées (25, 50 et 100%) provoque une mortalité de plus de 50% des larves de *M. incognita* ; il atteint 100% après 48 heures aux doses de 50% et de 100%. En revanche, pour le témoin, la majorité des nématodes est restée vivante, seulement une très faible mortalité de 2.66 à 5.66% a été notée.

Néanmoins, pour l'extrait hexanique de fruits de *P. harmala*, les taux de mortalité dépassent 50% pour la moyenne et la forte dose (50 et 100%), pour les trois durées d'exposition. Cependant, il est respectivement de l'ordre de 27.92, 40.44 et 55.3% après 24, 48 et 72 heures. Le témoin enregistre un pourcentage qui varie entre 5.66 à 9% après 72 heures.

Enfin, après 72 heures d'exposition et pour toutes les doses, tous les extraits aqueux engendrent un taux de mortalité inférieur au taux enregistré par le némacur, ce dernier est supérieur à celui du mocap.

Tableau VII : Effet des extraits des fruits de *P. harmala* sur la mortalité des larves (L2) de *M. incognita* .

Plantes testées et temps d'exposition	Pourcentage de mortalité corrigée			Probits		
	Doses			Doses		
	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)
Extrait éthanolique (fruits) 24h 48h 72h	60.33 62.94 71.72 74.32 78.22 100	5.04 5.33 5.55 5.96 6.36 8.09	8.09			
Némacur (traitement chimique) 24h 48h 72h	65.66 71.33 78	5.4 5.52 5.77				
Mocap (traitement chimique) 24h 48h 72h	49.33 53 63.66	4.98 5.08 5.35				
Témoin (éthanol) 24h 48h 72h	2.66 4.66 5.66					
Extraits hexanique (Fruits) 24h 48h 72h	27.92 40.45 55.36 69.65 75.61 100	4.73 4.76 5.07 5.17 5.26 5.30 5.62	5.62			
Némacur (traitement chimique) 24h 48h 72h	58 65 73	5.2 5.39 5.61				
Mocap (traitement chimique) 24h 48h 72h	51.33 57.66 64.66	5.04 5.19 5.38				
Témoin (hexane) 24h 48h 72h	5.66 7.66 9					
Extrait aqueux (Fruits) 24h 48h 72h	20 31.08 38.88 42.9 58.2 133 60.14 65.4 78 4.59 4.82 5.06 5.25 5.4	5.4 5.57 5.75	5.4			
Némacur (traitement chimique) 24h 48h 72h	65.66 72 77.66	5.4 5.57 5.75				
Mocap (traitement chimique) 24h 48h 72h	53 58 65.33	5.08 5.12 5.4				
Témoin (eau) 24h 48h 72h	0 1.33 1.66					

Plante testée (<i>Peganum harmala</i>)	DL 50 (%)		
	24 h	48 h	72 h
Extrait éthanolique (feuilles)	38.3	28.06	22.4
Extrait hexanique (feuilles)	80.3	58.78	40.09
Extrait aqueux (feuilles)	86.07	59.99	48.57
Extrait éthanolique (fruits)	20.85	24.13	14.99
Extrait hexanique (fruits)	57.48	41.68	17
Extrait aqueux (fruits)	87.54	65.60	45.95

Tableau VIII : Résultats des DL50 pour la mortalité des larves de *M. incognita* (les extraits des feuilles et des fruits de *P. harmala*).

L'efficacité des extraits utilisés a été aussi déterminée par le calcul de la DL 50 à partir des droites de régression représentées dans les figures 10, 11, 12, 13, 14 et 15. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau VIII.

L'analyse de la DL 50, après 24 heures d'exposition, montre que l'effet de l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala* est supérieur avec une dose de 25% (38.3%). Elle est inférieure à une dose de 50%, après 48 et 72 heures et se situe entre 22 et 28% respectivement.

Les DL 50 obtenues à partir de l'extrait hexanique et aqueux des feuilles de *P. harmala* après 24 et 48 heures d'exposition sont respectivement de 58.78 et 80.3% ; après 72 heures, la DL 50 est inférieure à 50%.

D'après les DL 50 obtenues, l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* est le plus toxique pour les larves de *M. incognita* avec des DL 50 de 20.85 après 24 heures, de 24.13 après 48 heures, de 14.99 après 72 heures d'exposition ; suivi par l'extrait éthanolique de feuilles et enfin l'extrait hexanique de fruits. En revanche, les autres extraits donnent des résultats similaires. Ils montrent une efficacité moindre avec des DL50 supérieures à la dose de 50% après 24 et 48 heures.

Pour ce qui est de l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala*, l'analyse de la DL 50 après 24, 48 et 72 heures d'exposition montre qu'elles sont toutes inférieures à la faible dose (25%). En effet, à cette même dose les taux de mortalité dépassent les 60% après 24 heures d'exposition.

Enfin, les DL 50 obtenues pour l'extrait aqueux de fruits de *P. harmala*, après 24 et 48 heures d'exposition se situent entre la moyenne et la forte dose (87.54 et 65.60%). Après 72 heures, elle est de 45.95%.

L'analyse de ces données montre que les DL 50 sont inversement proportionnelles aux temps d'exposition. En effet, après 72 heures les doses nécessaires pour provoquer une mortalité de 50% sont plus faibles que celles de 24 et 48 heures.

La régression du logarithme du temps en fonction des probits permet de déterminer les TL 50 des différents extraits des plantes utilisées avec une dose de 100% de la solution standard (tableau IX et figures : 16, 17, 18, 19, 20 et 21).

Extrait testé	TL 50 à 100% de la solution standard
Extrait éthanolique (feuilles)	10 heures et 18 minutes
Némacur	08 heures et 06 minutes
Mocap	31 heures et 44 minutes
Extrait hexanique (feuilles)	17 heures et 27 minutes
Némacur	15 heures et 38 minutes
Mocap	43 heures et 39 minutes
Extrait aqueux (feuilles)	20 heures et 43 minutes
Némacur	19 heures et 53 minutes
Mocap	29 heures et 34 minutes
Extrait éthanolique (fruits)	09 heures et 18 minutes
Némacur	07 heures et 22 minutes
Mocap	28 heures et 17 minutes
Extrait hexanique (fruits)	11 heures et 41 minutes
Némacur	14 heures et 25 minutes
Mocap	22 heures et 05 minutes
Extrait aqueux (fruits)	20 heures et 03 minutes
Némacur	07 heures et 05 minutes
Mocap	20 heures et 35 minutes

Tableau IX : Résultats des TL 50 pour la mortalité des larves de *M. incognita* à 100% de la solution standard (les extraits des feuilles et des fruits de *P. harmala*).

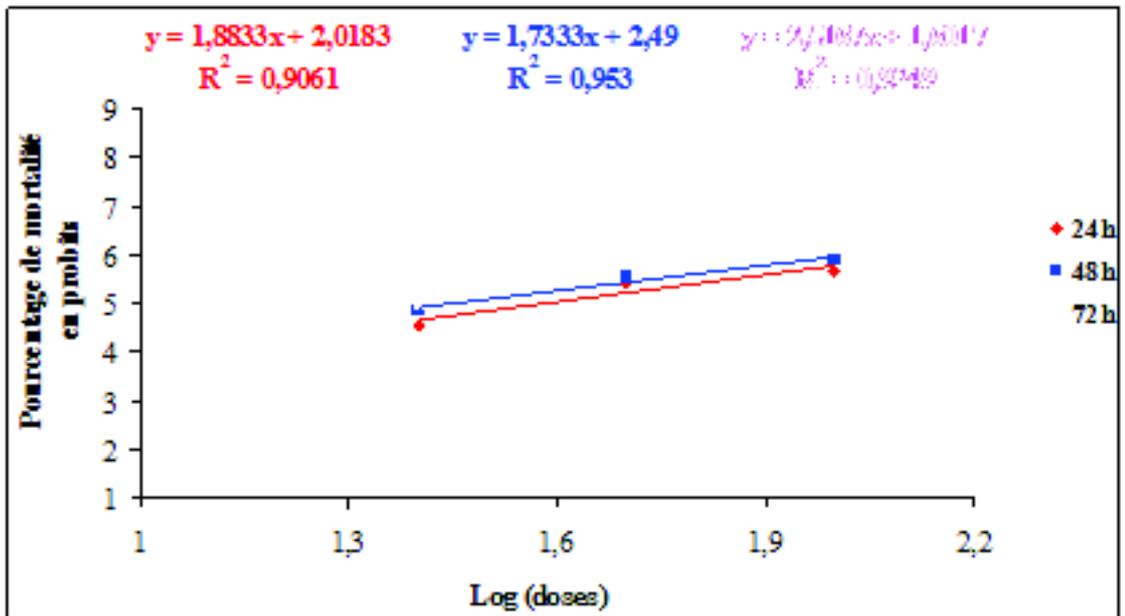


Figure 10 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

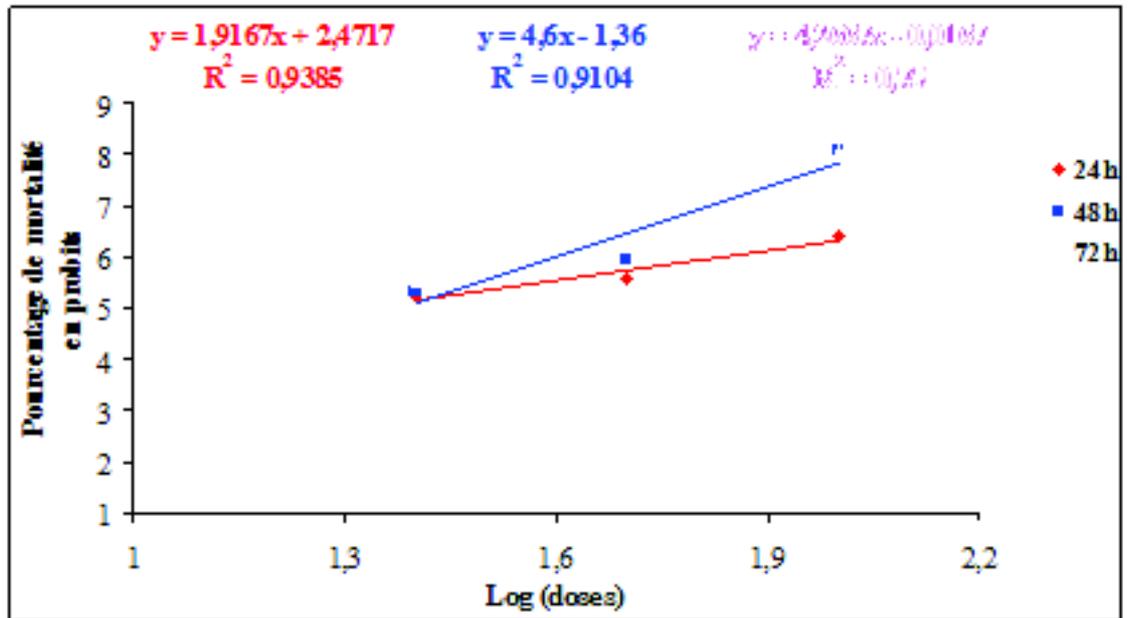


Figure 11 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'extrait hexanique de feuilles de *P. harmala* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

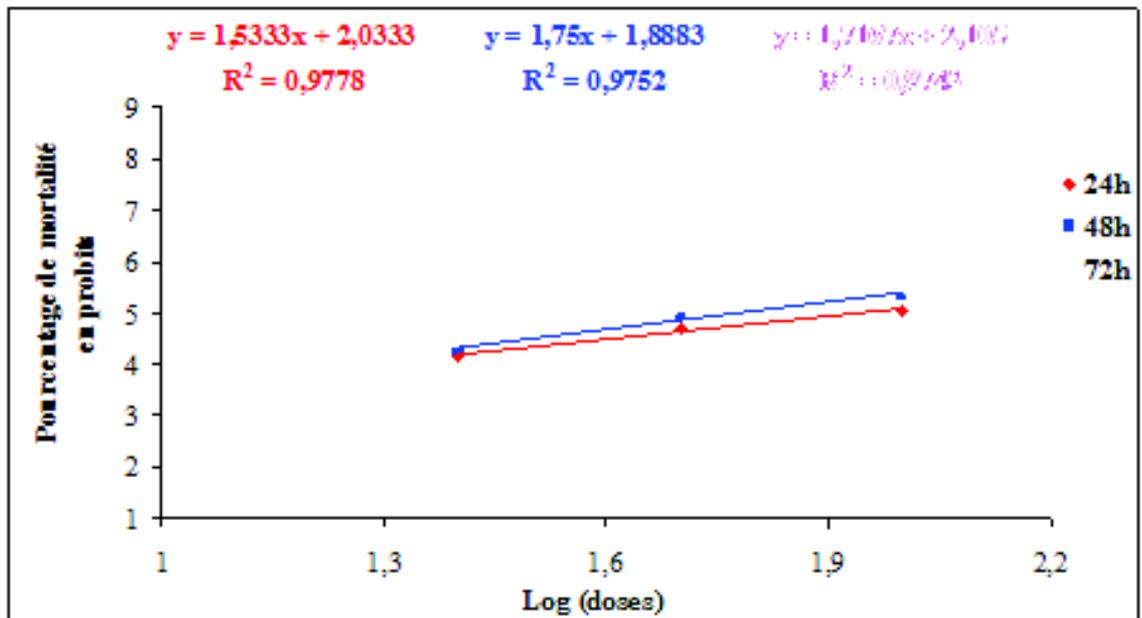


Figure 12 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

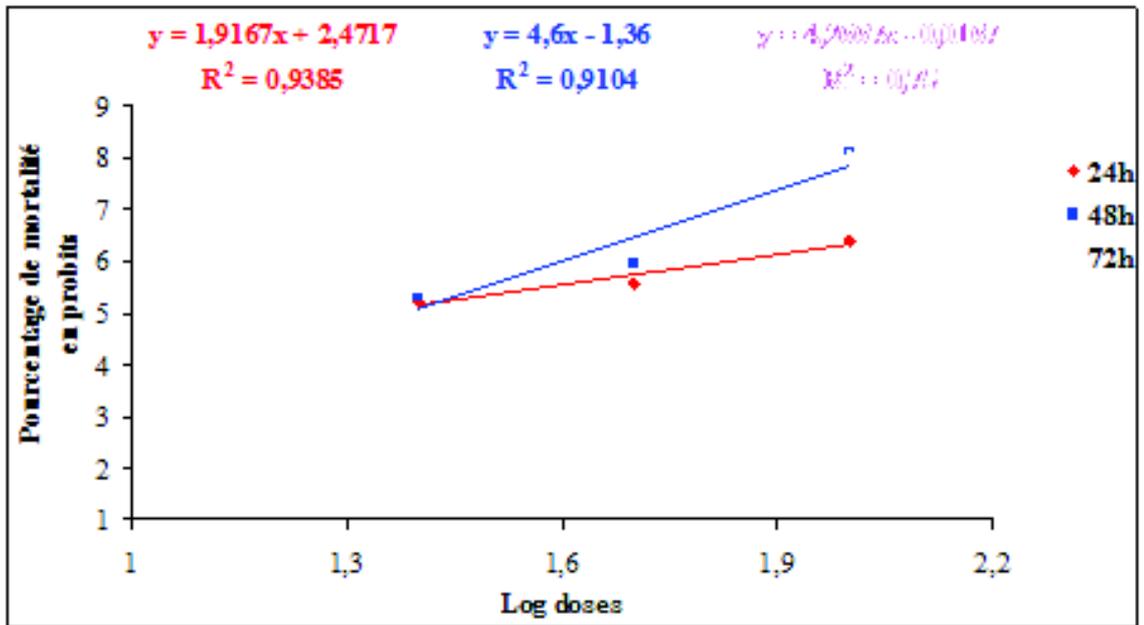


Figure 13 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

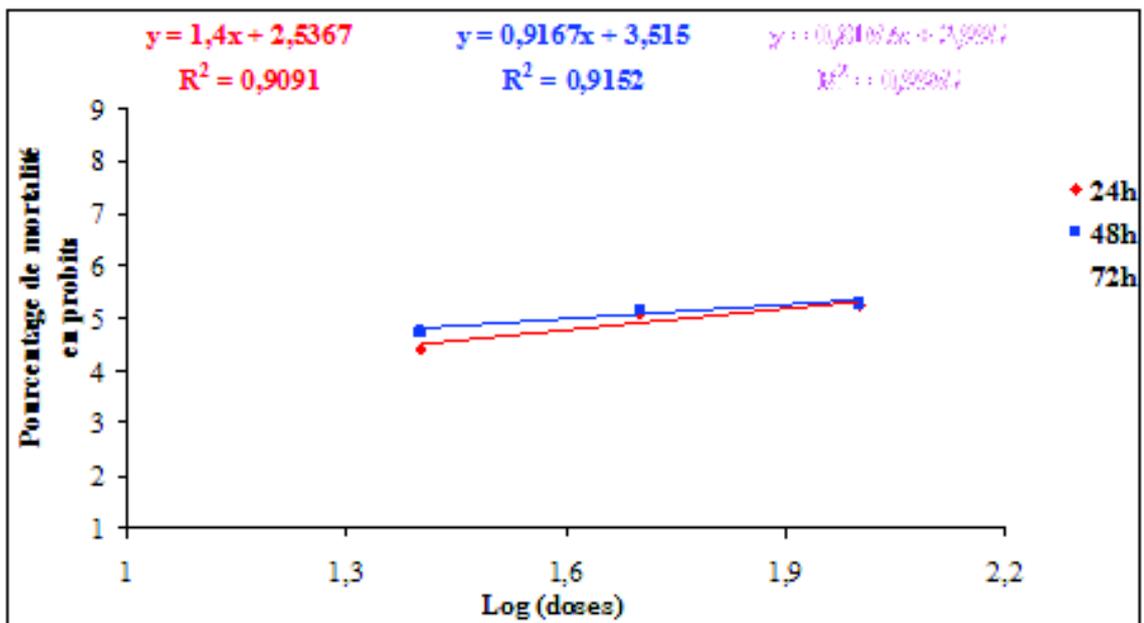


Figure 14 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'extrait hexanique de fruits de *P. harmala* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

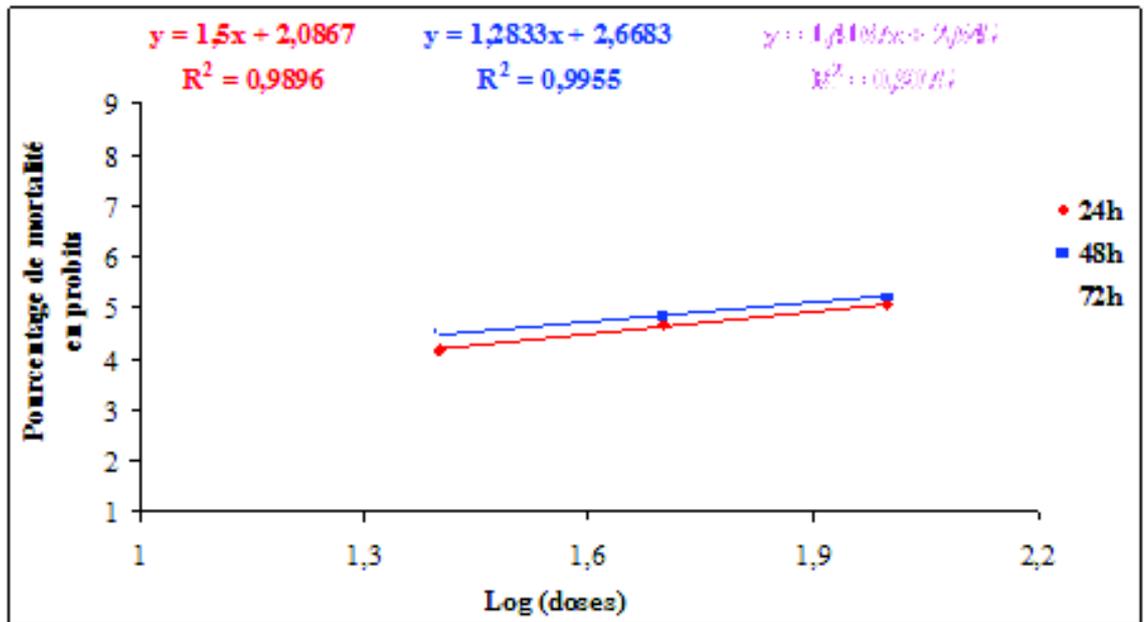


Figure 15 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'extrait aqueux de fruits de *P. harmala* sur les larves (L2) de *M. incognita*.

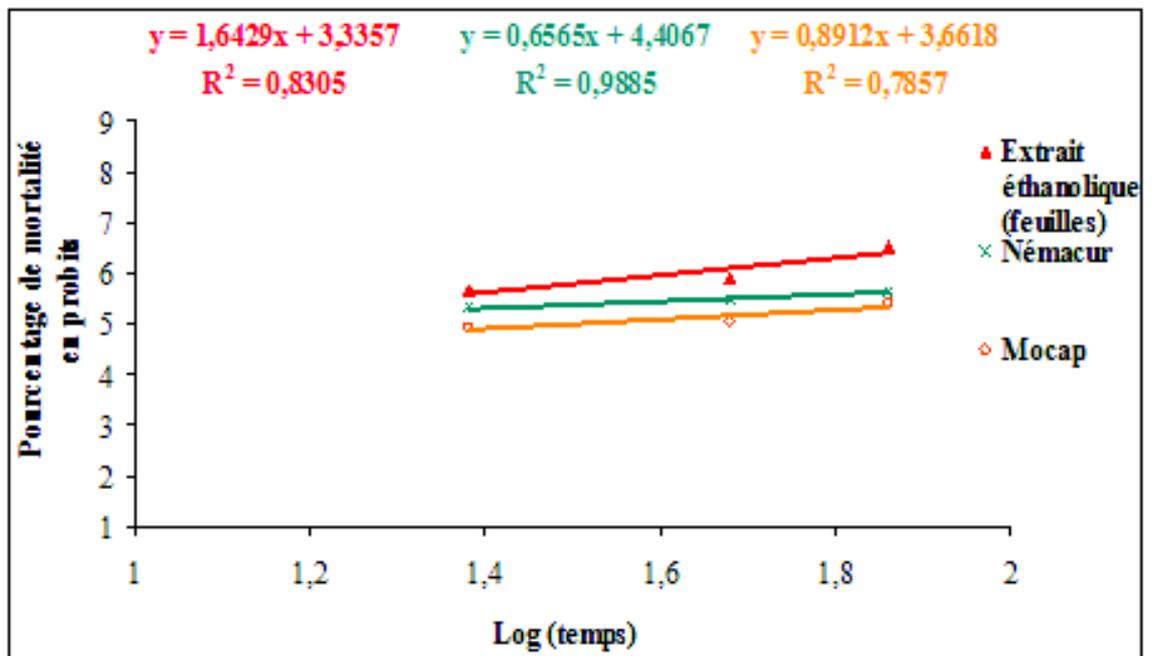


Figure 16 : Efficacité de l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

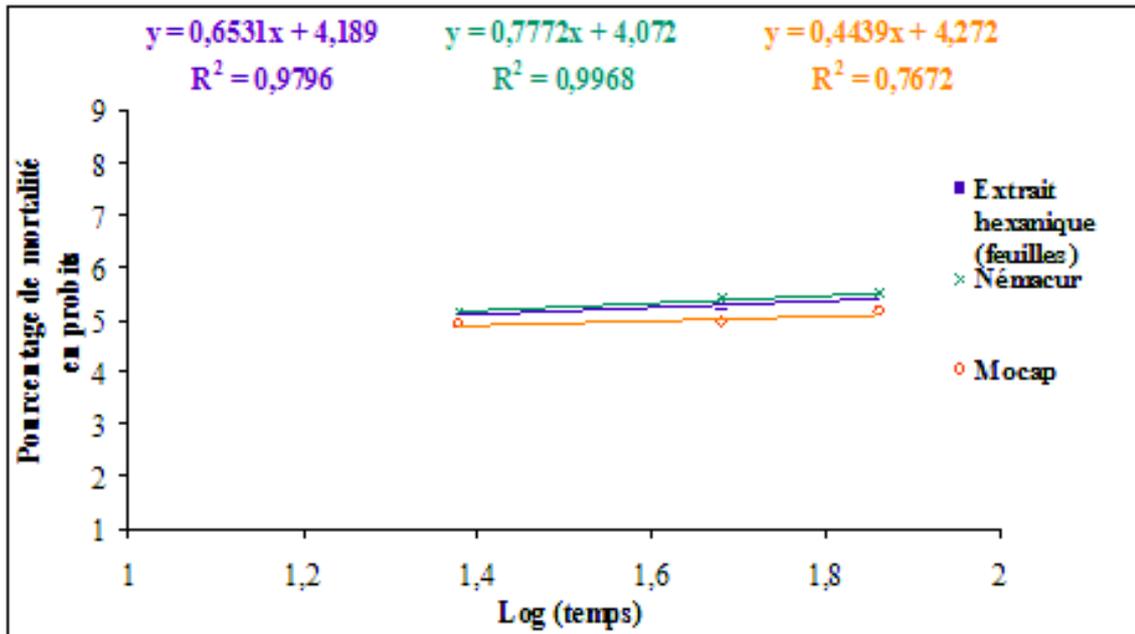


Figure 17 : Efficacité de l'extrait hexanique de feuilles de *P. harmala* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

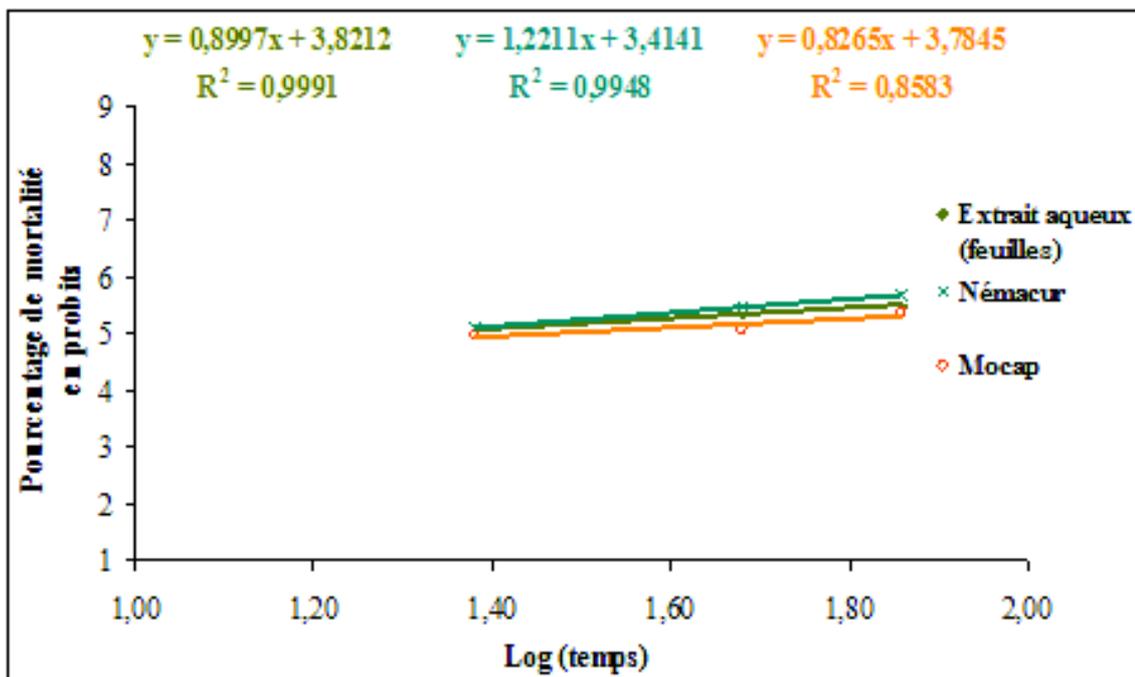


Figure 18 : Efficacité de l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

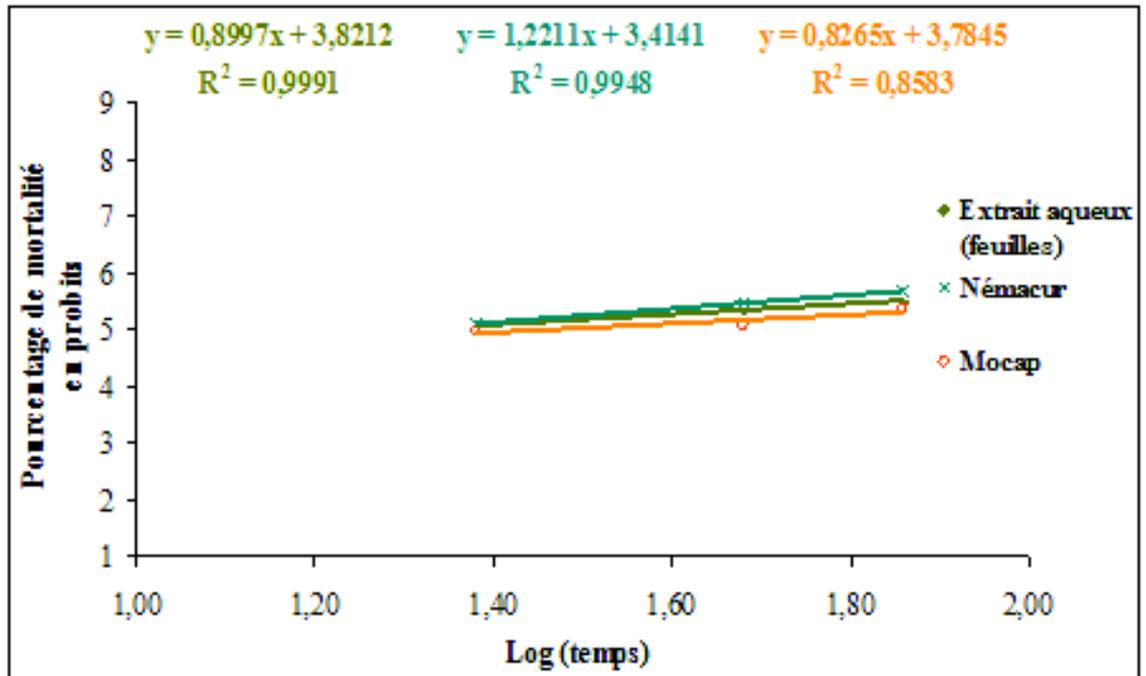


Figure 19 : Efficacité de l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

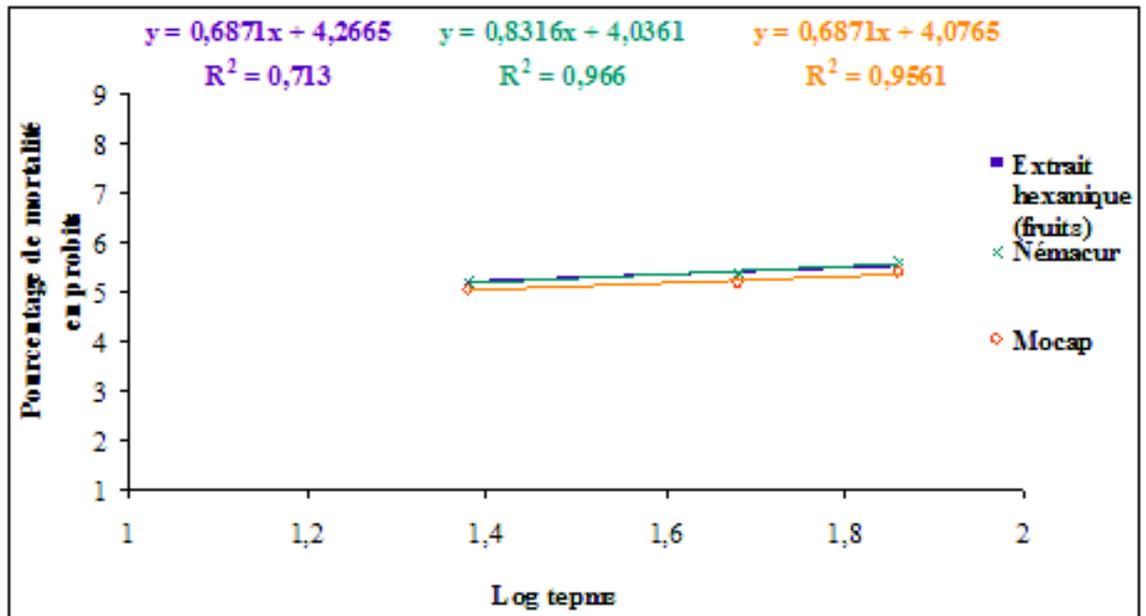


Figure 20 : Efficacité de l'extrait hexanique de fruits de *P. harmala* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

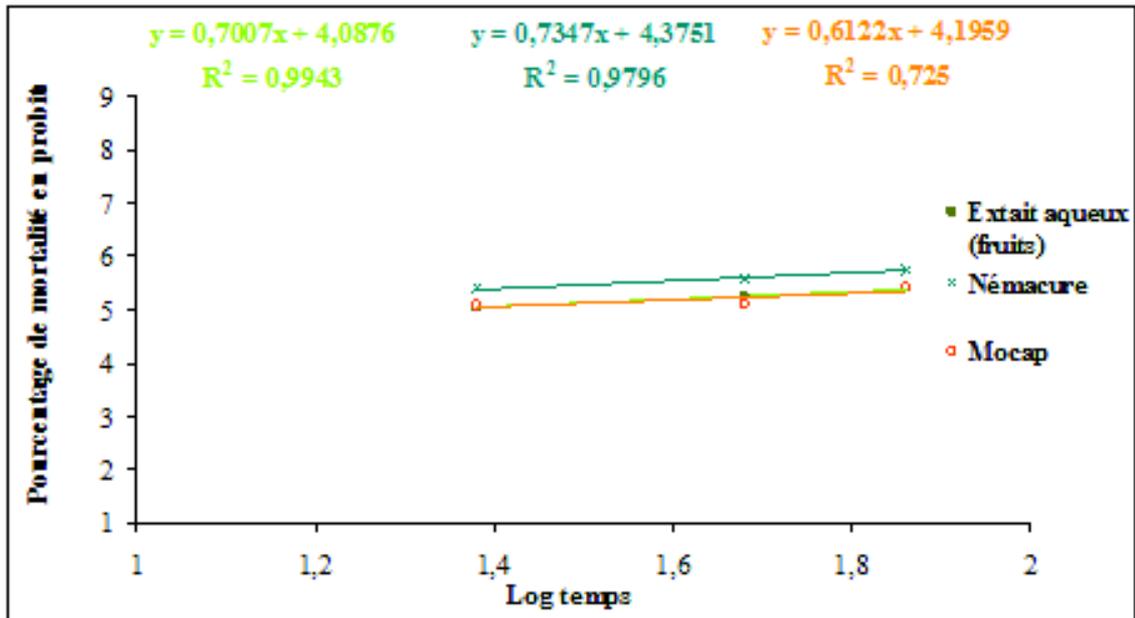


Figure 21 : Efficacité de l'extrait aqueux de fruits de *P. harmala* par rapport au temps utilisé sur les larves (L2) de *M. incognita*.

Les résultats obtenus révèlent que tous les extraits de *P. harmala* testés ont un effet choc intéressant. En effet, tous les extraits ont enregistré des TL 50 inférieurs à 24 heures (tableau IX).

L'effet choc le plus marquant est obtenu avec les extraits éthanoliques des fruits et des feuilles, ainsi que l'extrait hexanique de fruits de cette plante. Ils sont de l'ordre de 9 heures et 18 minutes, 10 heures 18 minutes et de 11 heures et 41 minutes respectivement.

Tableau X : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport à l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
D100	93.645	A
D50	86.577	A
Ném	78.000	B
Moc	65.333	B
D25	50.533	C
T	5.667	D

L'analyse de la variance de l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala* montre une différence significative entre les différents traitements et témoin. Néanmoins, les traitements à 50% et 100%, ainsi que les deux traitements nématicides ont enregistré un effet similaire (Tableau X, annexe 6).

Tableau XI : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport à l'extrait hexanique de feuilles de *P. harmala* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
Ném	70.333	A				
D100	66.425	A	B			
D50	55.833		B			
Moc	55.667		B			
D25	40.515				C	
T	8.667					D

L'extrait hexanique de cette même plante a également montré une différence significative des traitements, par contre aucune différence significative n'a été notée entre le némacur et la dose de 100%, la même observation a été relevée entre mocap et la dose 50% (Tableau XI, annexe 6).

Tableau XII : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport à l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
Ném	75.000	A				
D100	68.777	A	B			
Moc	64.667	A	B			
D50	54.755		B			
D25	29.245				C	
T	2.000					D

Pour l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala*, l'analyse de la variance a montré une différence non significative entre le nématocide à base du mocap et les doses 50 et 100%. Les différents traitements par rapport au témoin enregistrent une différence significative (Tableau XII, annexe 6).

Tableau XIII : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport à l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
D100	100.000	A				
D50	100.000	A				
Ném	78.000		B			
D25	70.325				C	
Moc	63.667					D
T	5.667					E

En ce qui concerne, l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* ; l'analyse de la variance montre une différence hautement significative des doses testées par rapport au témoin et aux traitements nématocides. Cependant les doses 50 et 100% ont montré un effet similaire pour cet extrait (tableau XIII, annexe 7).

Tableau XIV : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport à l'extrait hexanique de fruits de *P. harmala* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne Estimée	Groupes			
D100	73.255	A			
Ném	73.000	A			
D50	65.567		B		
Moc	64.667		B		
D25	55.300			C	
T	9.000				D

Le tableau XIV montre que le traitement à base de l'extrait hexanique de fruits de *P. harmala* à différentes doses est significatif par rapport aux témoins. En revanche, le traitement à base de némacur a révélé un effet similaire à celui de la dose 100%. Il en est de même pour le mocap et la dose 50 % (tableau XIV, annexe 7).

Tableau XV : Classement des groupes homogènes des moyennes des pourcentages de mortalité des larves après 72 heures d'exposition par rapport à l'extrait aqueux de fruits de *P. harmala* et aux traitements chimiques (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne Estimée	Groupes			
Ném	77.667	A			
D100	65.425		B		
Moc	65.333		B	C	
D50	58.315			C	
D25	32.885				D
T	1.667				E

L'analyse de la variance montre des différences significatives entre les différentes doses et les traitements nématicides (tableau XV, annexe 7).

4- Effet des huiles essentielles de *F. vulgare* et *M. spicata* sur l'éclosion des juvéniles de *M. incognita*

Afin de mettre en évidence le nombre de larves éclos des masses d'œufs incubées dans les deux huiles, le témoin et les solutions chimiques, nous avons présenté le total des œufs éclos sous forme de courbes cumulatives après 12 jours d'incubation (figures 22 et 23). Les résultats montrent que la courbe cumulative du témoin est différente de celles des extraits aqueux testés et du némacur. En effet, le nombre d'œufs éclos dans les solutions testées est très faible par rapport à celui du témoin.

Ainsi, le nombre moyen des larves écloses augmente avec le temps, il est inversement proportionnel à la dose. De ce fait, l'huile de *F. vulgare* présente un faible nombre de larves écloses (55.75) par rapport à celle de *M. spicata* avec 100 larves écloses. Le pourcentage d'inhibition de l'éclosion augmente en fonction des doses testées.

Avec la dose 800 µl/l, le pourcentage d'inhibition de l'éclosion à est de 83.36% pour le *F. vulgare*, il est de l'ordre de 68.18% pour *M. spicata*. Le *F. vulgare* présente toujours un

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

pourcentage d'inhibition de l'éclosion plus important que celui de *M. spicata*. Les traitements chimiques présentent un taux d'inhibition élevé, pour le némacur de 70.80 à 72.16% et entre 56.86 à 63.48% concernant le mocap.

Tableau XVI : Effet des extraits des huiles essentielles de *F. vulgare*. et de *M. spicata* sur l'éclosion des larves (L2) de *M. incognita* .

Huiles essentielles testées	Nombre moyen des larves écloses après 12 jours d'incubation					Pourcentage d'inhibition de l'éclosion par rapport au témoin				
	Doses (µl/l)					Doses (µl/l)				
	50	100	200	400	800	50	100	200	400	800
<i>F. vulgare</i>	193.75	151.25	126.75	88.5	55.75	42.16	54.85	62.16	73.58	83.36
Némacur	93.25					72.16				
Mocap	144.5					56.86				
Témoin (Tween +éthanol)	335									
<i>M. spicata</i>	230	187	173.5	149.5	100	26.87	40.49	44.78	52.42	68.18
Némacur	91.75					70.80				
Mocap	114.75					63.48				
Témoin (Tween +éthanol)	314.25									

Plantes testées	DL 50 après 12 jours d'exposition
<i>F. vulgare</i>	82.08
<i>M. spicata</i>	259.16

Tableau XVII : Résultats des DL 50 pour l'inhibition de l'éclosion des larves de *M. incognita* après 12 jours d'incubation des deux huiles essentielles testées.

D'après le tableau ci-dessus, la DL 50 obtenue avec *F. vulgare* est inférieure à 100 µl/l (82.08 µl/l), elle est largement supérieure pour *M. spicata* à cette dose, mais elle se rapproche à la dose moyenne (259.16 µl/l) (figures 24 et 25).

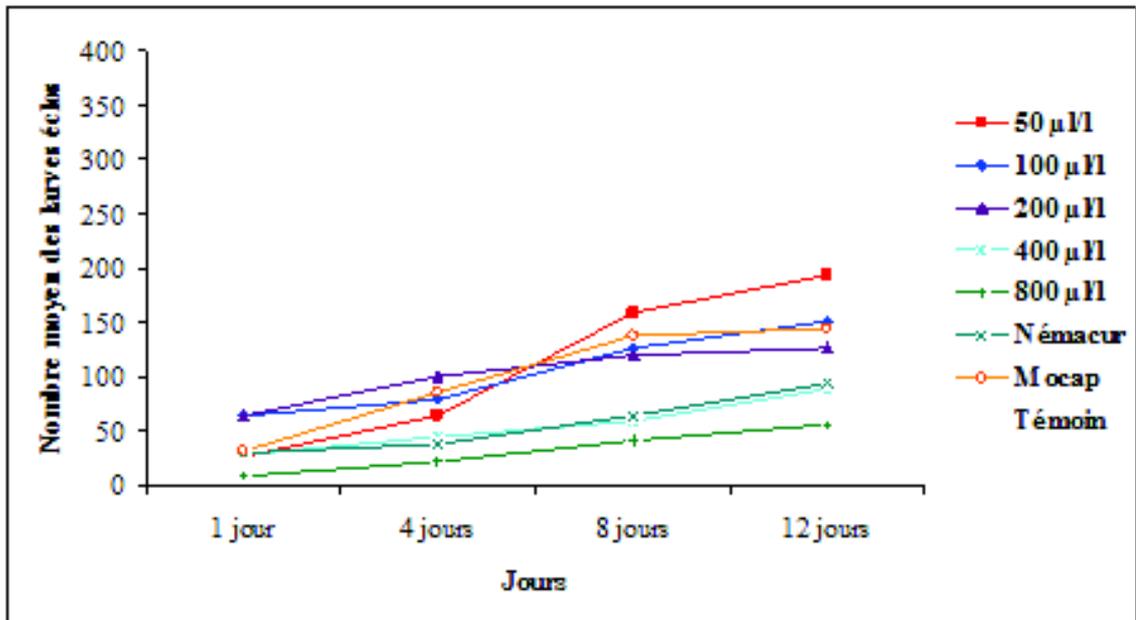


Figure 22 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'huile essentielle de *F. vulgare*.

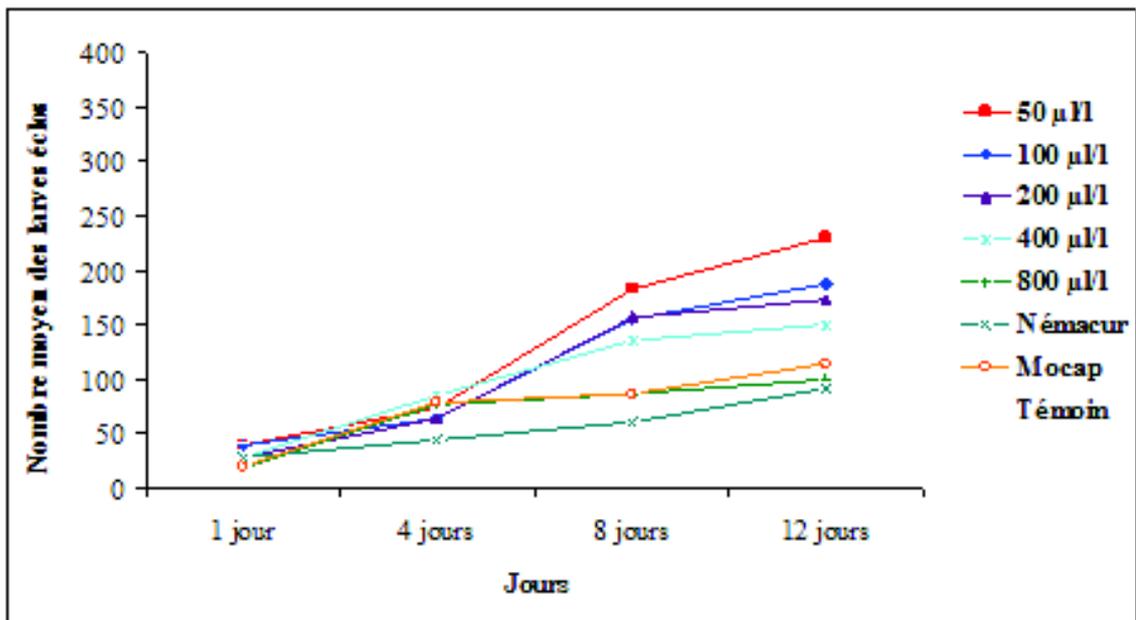


Figure 23 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'huile essentielle de *M. spicata*.

Tableau XVIII : Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour le *F. vulgare* (test de Newman-Keuls).

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
T	335.000	A				
D50	193.750		B			
D100	151.250			C		
Moc	144.500			C		
D200	126.750			C		
Ném	93.250				D	
D400	88.500				D	
D800	55.750					E

Tableau XIX : Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour *M. spicata* (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
T	314.250	A				
D50	230.000		B			
D100	187.000			C		
D200	173.500			C		
D400	149.500				D	
Moc	114.750					E
D800	100.000					E
Ném	91.750					E

Les tableaux XVIII et XIX, montrent des différences hautement significatives entre les fortes et les moyennes doses. Cependant le mocap avec les doses 100 et 200 µl/l et le némacur avec la dose 400 µl/l ne sont significatifs pour *F.vulgare*.

En ce qui concerne, l'effet de l'huile de *M. spicata*, celle-ci présente une différence significative par rapport au témoin. Néanmoins entre les 100 et 200 µl/l ainsi que la dose 800 µl/l et les traitements nématocides montrent un effet identique (annexe 8)

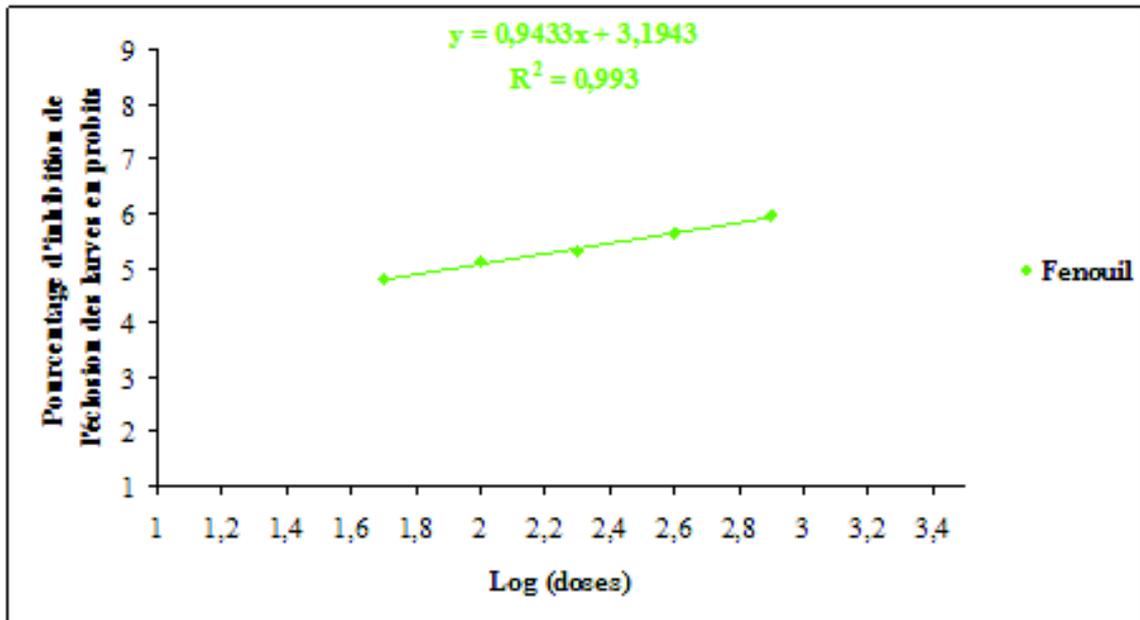


Figure 24 : Droite de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'huile essentielle de *F. vulgare* sur l'éclosion des larves de *M. incognita*.

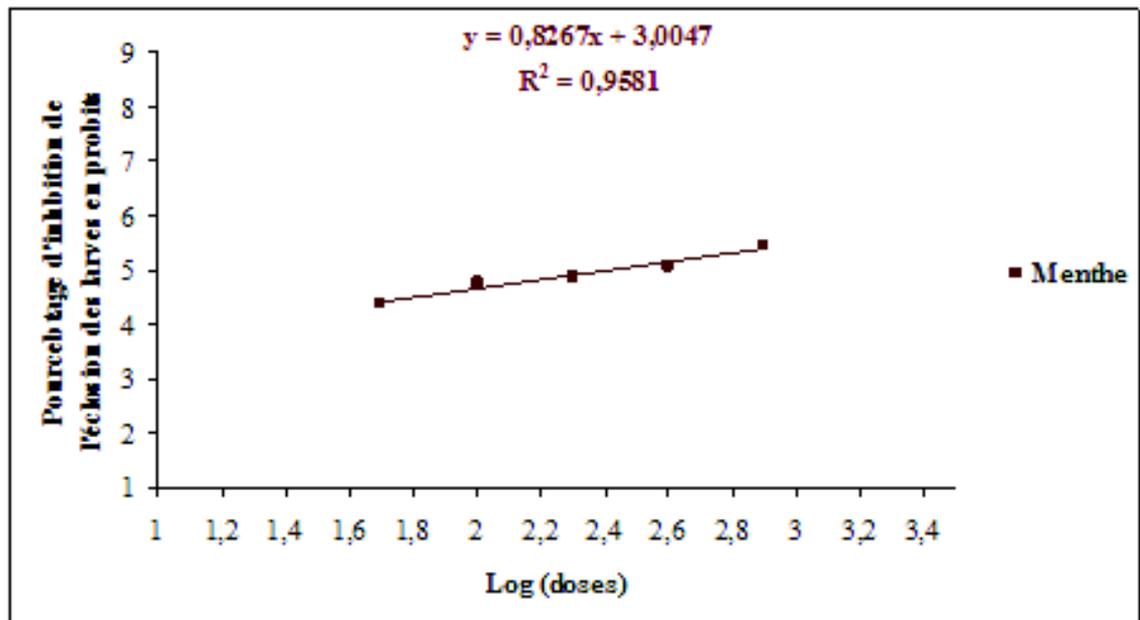


Figure 25 : Droite de régression des probits à différentes doses utilisées dans l'huile essentielle de *M. spicata* sur l'éclosion des larves de *M. incognita*.

5- Effet des extraits des feuilles de *P.harmala* sur l'éclosion de *M. incognita*

Les pourcentages d'inhibition de l'éclosion des œufs de *M. incognita* des différents traitements sont regroupés dans le tableauXX.

Tableau XX : Effet des extraits des feuilles de *P. harmala* sur l'éclosion des larves (L2) de *M. incognita*.

Extraits testés	Nombre moyen des larves écloses après 12 jours d'incubation			Pourcentage d'inhibition de l'éclosion par rapport au témoin		
	Doses			Doses		
	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)
Extrait éthanolique (Feuilles)	139.75	117.5	100.5	51.05	58.84	64.79
Némacur	95.75			66.46		
Mocap (traitement chimique)	111.5			60.94		
Témoin (éthanol)	285.5					
Extraits hexanique (Feuilles)	207.75	171	138.5	25.73	38.87	50.49
Némacur	81			71.04		
Mocap	121.75			56.47		
Témoin (Hexane)	279.75					
Extrait aqueux (Feuilles)	172	150	133.25	49.81	56.24	61.12
Némacur	123.75			63.89		
Mocap	157			54.19		
Témoin (eau)	342.75					

D'après le tableau XX et les figures 26, 27 et 28, nous relevons que les pourcentages d'inhibition de l'éclosion augmentent en fonction des doses testées.

Aux fortes doses, les taux dépassent 50% pour les trois extraits, ils sont de 50.49, 61.12 et 64.79% respectivement pour les extraits hexanique, aqueux et éthanolique des feuilles de *P. harmala*. Pour les mêmes extraits, mais avec une dose de 50%, ils atteignent 58.84, 56.24 et 38.87%.

A 25%, le pourcentage d'inhibition est comme suit : 25.73, 49.81 et 51.05% pour les extraits hexanique, aqueux et éthanolique des feuilles de *P. harmala*.

Enfin, le Némacur enregistre un taux d'inhibition de 60 à 70%, alors qu'avec pour le Mocap li est compris entre 54 et 61%.

Nous relevons que les taux d'inhibition de l'éclosion augmentent également en fonction des doses testées.

6- Effet des extraits des fruits de *P. harmala* sur l'éclosion des juvéniles de *M. incognita*

Les pourcentages d'inhibition de l'éclosion des œufs de *M. incognita* des différents traitements sont regroupés dans le tableauXXI.

La lecture des résultats du tableau XXI et des figures 29, 30 et 31, montre que l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* est le plus efficace contre *M. incognita*. En effet, pour une dose de 100%, le pourcentage d'inhibition de l'éclosion des œufs de *M. incognita* avoisine les 70%. A faible dose de 25%, le taux dépasse les 50% pour le même traitement.

L'extrait hexanique de fruits de *P. harmala* enregistrent les taux les plus faibles d'inhibition avec 33.44, 42.99 et 55.51% respectivement à 25, 50 et 100%. Ainsi, ces taux dépassent les 50% avec 25% comme dose pour l'extrait aqueux.

Parmi les extraits testés, c'est l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* qui prédomine avec un le pourcentage d'inhibition de 69.19% pour une dose de 100%.

Enfin, les traitements chimiques (némacur et mocap) enregistrent un taux d'inhibition de l'éclosion des œufs de cette espèce de 50 à 60% respectivement.

Extraits testés	Nombre moyen des larves écloses après 12 jours d'incubation			Pourcentage d'inhibition de l'éclosion par rapport au témoin		
	Doses			Doses		
	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)	S/4 (25%)	S/2 (50%)	S (100%)
Extrait éthanolique (Fruits)	116.25	89.5	81.5	56.04	66.16	69.19
Némaur (traitement chimique)	105			60.3		
Mocap (traitement chimique)	114			56.89		
Témoin (éthanol)	264.5					
Extraits hexanique Fruits	202	173	135	33.44	42.99	55.51
Némaur (traitement chimique)	98.25			67.62		
Mocap (traitement chimique)	122.25			59.71		
Témoin (hexane)	303.5					
Extrait aqueux (Fruits)	165.75	138.75	117.5	51.03	59.01	65.59
Némaur (traitement chimique)	122			63.96		
Mocap (traitement chimique)	154.5			54.36		
Témoin (eau)	338.5					

Tableau XXI : Effet des extraits de fruits de *P. harmala* sur l'éclosion des larves (L2) de *M. incognita*.

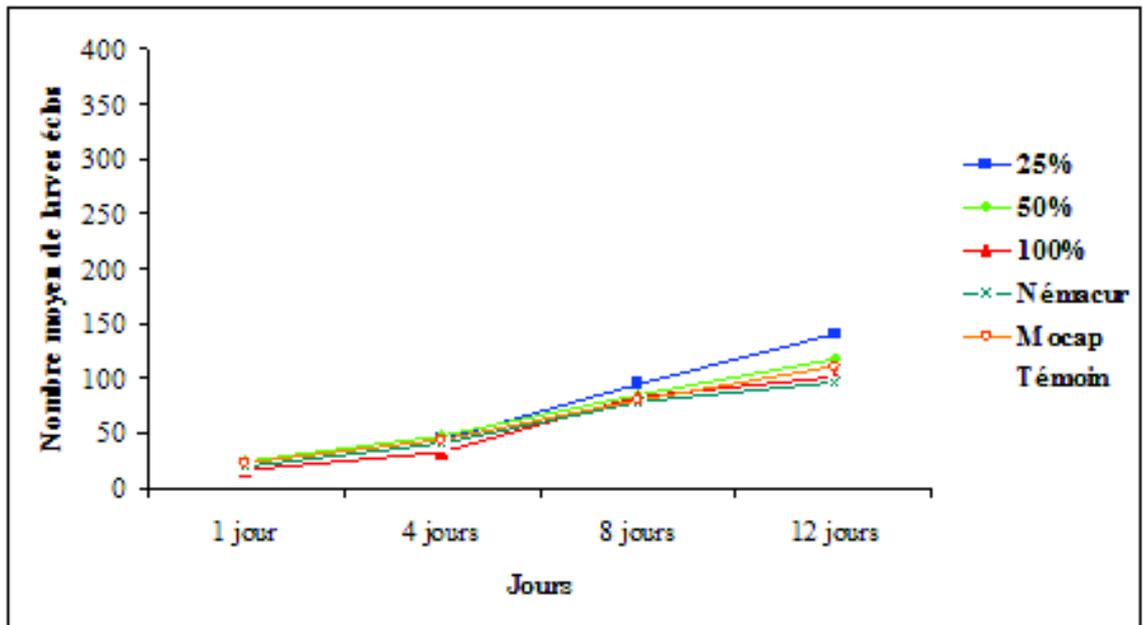


Figure 26 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala*.

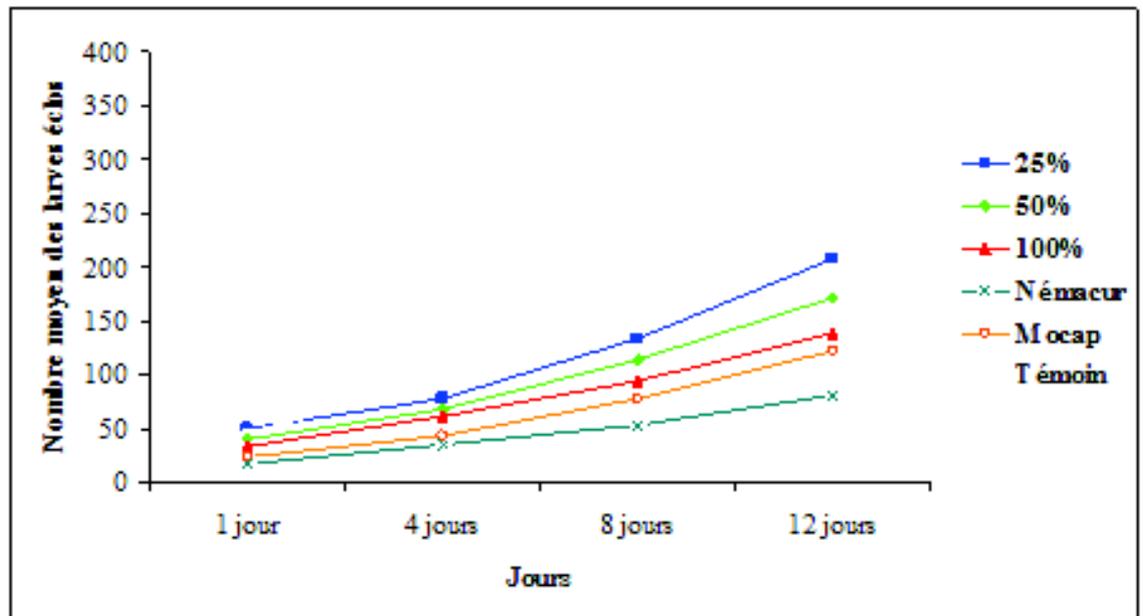


Figure 27 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'extrait hexanique de feuilles de *P. harmala*.

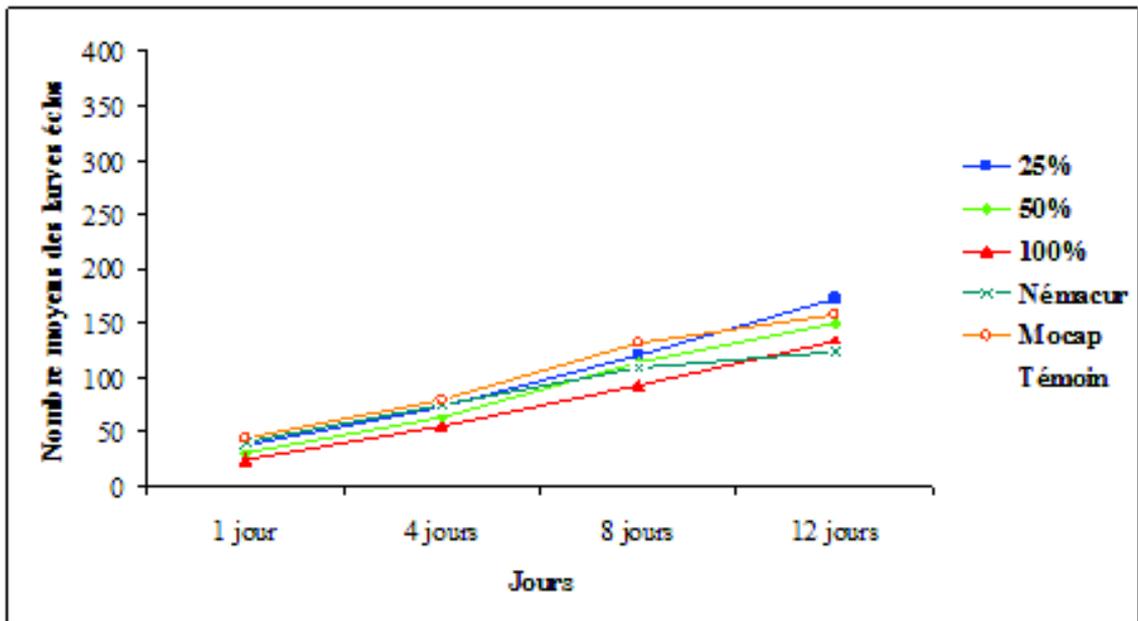


Figure 28 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala*.

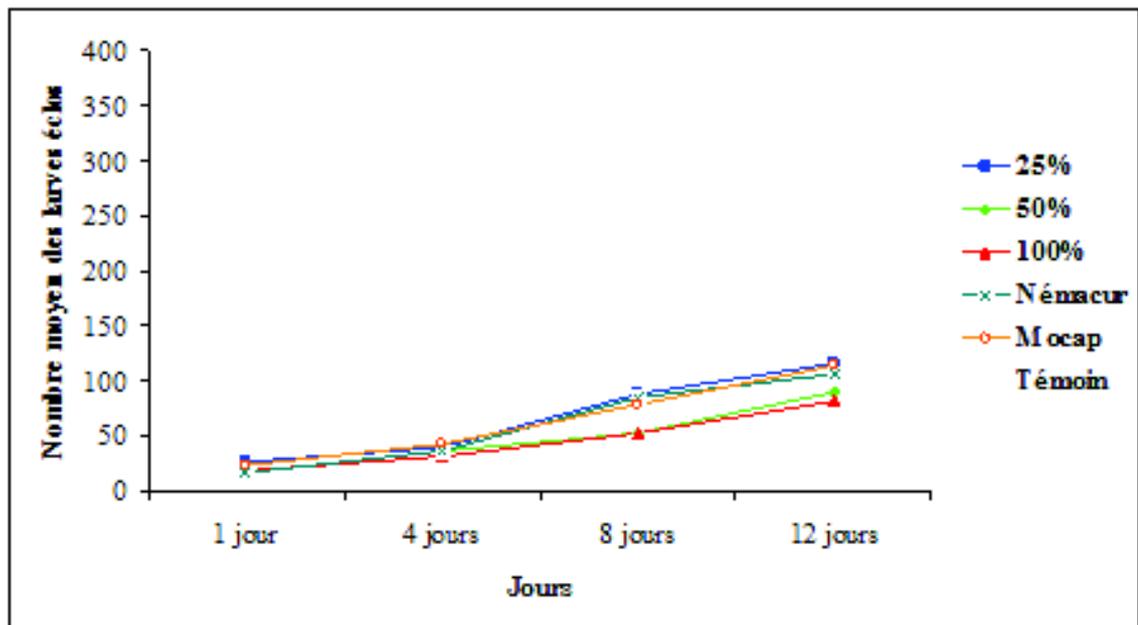


Figure 29 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala*.

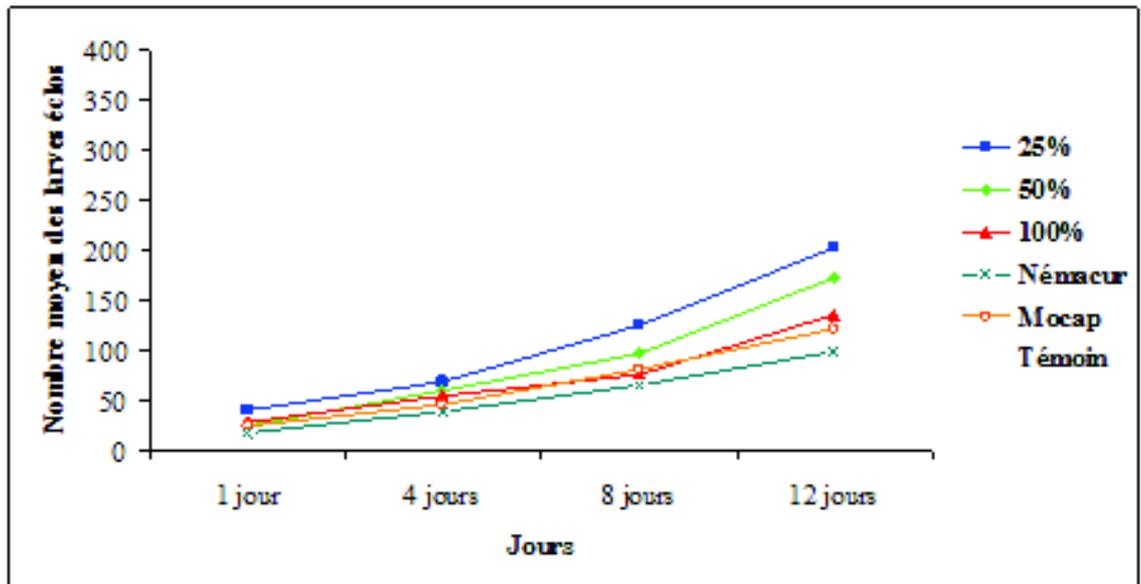


Figure 30 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'extrait hexanique de fruits de *P. harmala*.

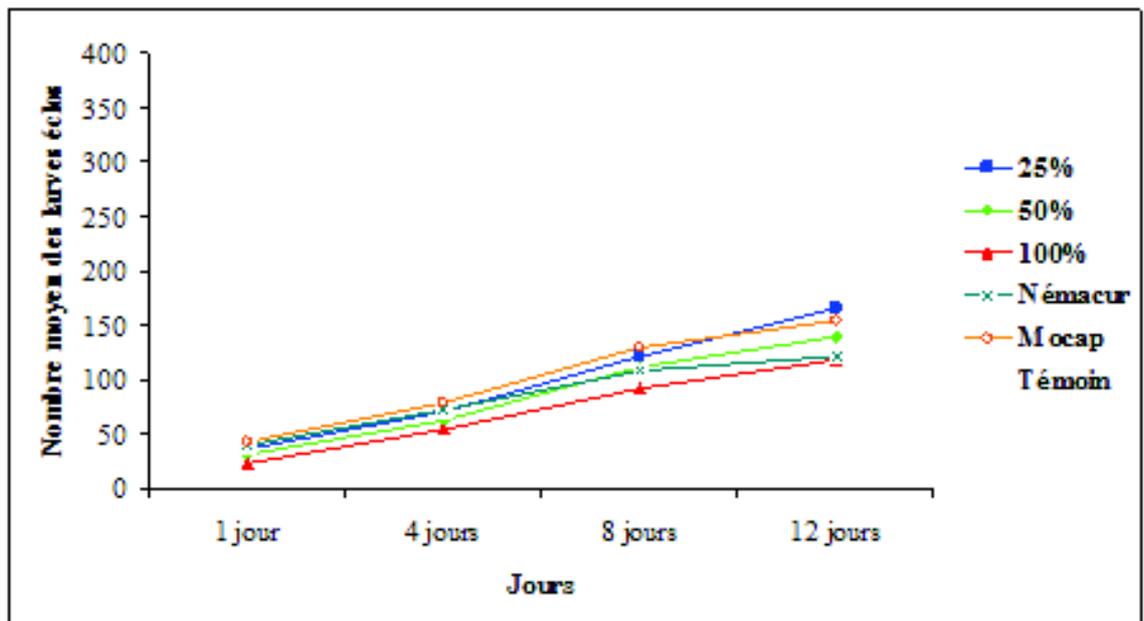


Figure 31 : Nombre moyen de larves écloses de *M. incognita* dans l'extrait aqueux de fruits de *P. harmala*

Extrait testé (<i>P. harmala</i>)	DL 50 après 12 jours d'exposition (%)
Extrait éthanolique (feuilles)	21.88
Extrait hexanique (feuilles)	95.62
Extrait aqueux (feuilles)	24.30
Extrait éthanolique (fruits)	12.42
Extrait hexanique (fruits)	73.27
Extrait aqueux (fruits)	21.82

Tableau XXII : Résultats des DL 50 pour l'inhibition de l'éclosion des larves de *M. incognita* après 12 jours d'incubation à différentes doses (les extraits des feuilles et des fruits de *P. harmala*).

Les DL 50 enregistrées après 12 jours d'incubation (tableau XXII et figures 32 et 33) se sont avérées faibles par rapport à la dose 25 % pour l'extrait éthanolique de fruits et de feuilles de *P. harmala*, elles sont de l'ordre de 12.42 et 21.88 % respectivement. En ce qui concerne l'extrait aqueux de feuilles et de fruits, ce pourcentage est compris entre 12 et 24.30%. Pour cette même plante les extraits hexaniques des feuilles et des fruits sont les moins inhibiteurs de l'éclosion par rapport aux autres traitements avec des DL 50 de 73.27 et 95.62% respectivement.

L'analyse de la variance montre que tous les traitements sont significatifs par rapport au témoin pour l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala* (tableau XXIII). Le traitement chimique à base de mocap présente le même effet que les doses 25 et 50%, alors que le némacur présente un effet similaire à celui de la dose de 100%.

En ce qui concerne l'extrait hexanique de cette plante une différence significative est notée pour tous les traitements testés par rapport au témoin, mais le traitement chimique à base de mocap présente une différence non significative par rapport à la dose 100% (tableau XXIV). Enfin, l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala* révèle une différence significative entre les traitements, excepté le mocap qui a révélé une différence non significative avec le traitement de l'extrait à la dose 50% (tableau XXV).

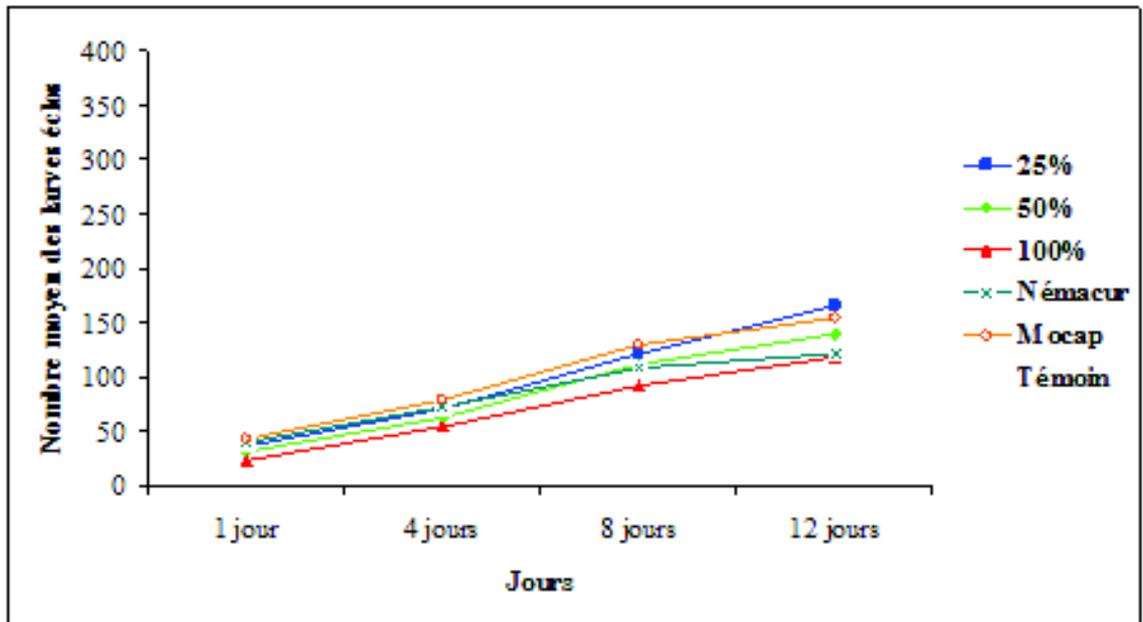


Figure 32 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans les différents extraits des feuilles de *P. harmala* sur l'éclosion des larves de *M. incognita*.

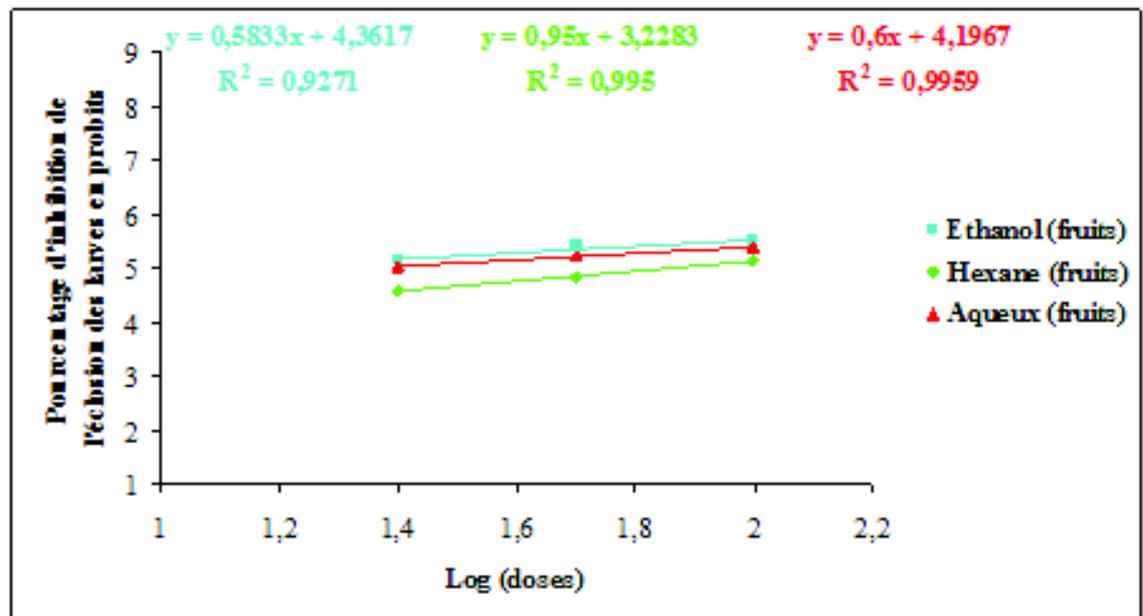


Figure 33 : Droites de régression des probits à différentes doses utilisées dans les différents extraits des fruits de *P. harmala* sur l'éclosion des larves de *M. incognita*

Tableau XXIII : Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala* (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
T	285.500	A				
D25	139.750			B		
D50	117.500			B		
Moc	111.500			B		C
D100	100.500					C
Ném	95.750					C

Tableau XXIV : Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour l'extrait hexanique de feuilles de *P. harmala* (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
T	279.750	A				
D25	207.750		B			
D50	171.000			C		
D100	138.500				D	
Moc	121.750				D	
Ném	81.000					E

Tableau XXV : Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala* (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
T	342.750	A				
D25	172.000		B			
Moc	157.000			C		
D50	150.000			C		
D100	133.250				D	
Ném	123.750					E

L'analyse de la variance montre que tous les traitements sont significatifs par rapport au témoin pour l'extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala*. Le traitement chimique à base de mocap et le némacur ont le même effet que le traitement à 100%, tandis que la dose 25 et 50% donnent des résultats similaires (tableau XXIII, annexe 9).

Pour l'extrait hexanique, une différence très significative est notée pour tous les traitements testés par rapport au témoin, à part le mocap et le traitement à 100% qui présentent le même effet (tableau XXIV, annexe 9).

Concernant l'extrait aqueux de feuilles de *P. harmala*, la différence est très significative entre les traitements et les nématicides. En revanche, le mocap a révélé une différence non significative avec le traitement à la dose de 50% (tableau XXV, annexe 9).

Tableau XXVI : Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala* (test de Newman-Keuls).

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
T	264.500	A		
D25	116.250		B	
Moc	114.000		B	
Ném	105.000		B	
D50	89.500			C
D100	81.500			C

Tableau XXVII : Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour l'extrait hexanique de fruits de *P. harmala* (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes			
T	303.500	A			
D25	202.000		B		
D50	173.000			C	
D100	135.000				D
Moc	122.250				D
Ném	98.250				D

Tableau XXVIII: Classement des groupes homogènes des moyennes des larves écloses après 12 jours d'incubation à différentes doses pour l'extrait aqueux de fruits de *P. harmala* (test de Newman-Keuls).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
T	338.500	A		
D25	165.750		B	
Moc	154.500		B	
D50	138.750		B	C
Ném	122.000			C
D100	117.500			C

L'analyse de la variance montre que tous les traitements sont significatifs par rapport au témoin pour l'extrait éthanolique de fruits de *P. harmala*. Le traitement chimique à base de mocap présente le même effet que le némacur, ces mêmes observations sont notées entre les doses 50 et 100% (tableau XXVI, annexe 10).

En ce qui concerne l'extrait hexanique de cette plante, une différence significative est notée pour tous les traitements testés par rapport au témoin, mais les deux traitements nématocides et la dose 100% présentent une différence non significative (tableau XXVI, annexe 10). Enfin, l'extrait aqueux de fruits de *P. harmala* révèle une différence significative entre le témoin et les traitements. En revanche, le mocap a révélé une différence non significative avec le traitement de l'extrait aux doses 25 et 50%, il en est de même pour le némacur et les doses 50 et 100% (tableau XXVIII, annexe 10).

7- Les Métabolites secondaires des plantes étudiées

7-1- Tests phytochimiques de *P. harmala*

Le tableau XXIX montre les résultats du test phytochimique effectué sur les feuilles et les fruits de *P. harmala*. Les principaux composés communs présents en grande quantité sont les alcaloïdes suivis des coumarines et des saponosides dans les feuilles et les fruits de *P. harmala*. Les anthocyanes, les leuco anthocyanes, les quinones libres et les tanins catéchétiques viennent avec de faibles quantités. Les autres composants : les flavonoïdes, les glucosides, les quinones combinées et les tanins galliques sont totalement absents. Pour les fruits, les quinones libres sont présents en quantité modérée ; les flavonoïdes sont en faible quantité, alors que les anthocyanes, les glucosides, les leuco anthocyanes, les quinones combinées, les saponosides, les tanins catéchétiques et galliques et sont totalement absents.

Métabolites	Feuilles	Fruits
Alcaloïdes	+++	+++
Anthocyanes	+	-
Coumarines	+++	++
Flavonoïdes	-	+
Glucosides	-	-
Leuco anthocyanes	+	-
- Quinones Quinones libres	+	++
- Quinones combinés	-	-
Saponosides	+++	+++
- Tanins catéchétiques	+	-
- Tanins galliques	-	-

Tableau XXIX : Résultat des tests phytochimiques de *P. harmala*.

- : Nulle, + : faible, ++ : Moyennement riche, +++ : Riche.

7-2- Identification des constituants de l'huile essentielle de *F. vulgare* et de *M. spicata*

Les résultats du tableau ci-dessous (tableau XXX) et la figure 34 nous relevons que l'huile essentielle de *F. vulgare* contient plusieurs composés à savoir : le *trans*-anétholène en quantité majoritaire avec 54.76%, suivis par le limonène (23.83%), le *para*-anis-aldehyde (10.17%), l'estragol (6.1%) et l'eugénol (4.01%) ; ainsi que d'autres composés sous forme de traces. D'après le tableau : XXXI et la figure 35 de l'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (C.G/M.S.) de l'huile essentielle de *M. spicata* montre que l'huile est très riche en carvone (71.03%) et montre aussi la présence de limonène en quantité modérée (20.02%), *Trans*-dihydrocarvone (5.33%), *Trans*-dihydrocarvylacetate (1.45%), *Bêta* boubounène (0.95%) et *Trans*-caryophyllène (0.24%) et d'autres constituants en faibles quantités.

Tableau XXX : Composés majoritaires de l'huile essentielle de *F. vulgare*.

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

Principaux constituants	Pourcentage (%)	Temps de rétention (mn)
<i>Trans</i> -anéthol	54.76	16.01
Limonène	23.83	13.99
<i>Para</i> -anis-aldehyde	10.17	14.29
Estragol	6.1	10.33
Eugénol	4.01	9.98

Tableau XXXI : Composés majoritaires de l'huile essentielle de *M. spicata*.

Principaux constituants	Pourcentage (%)	Temps de rétention (mn)
Carvone	71.03	12.94
Limonène	20.02	5.39
<i>Trans</i> -dihydrocarvone	5.33	11.17
<i>Trans</i> -dihydrocarvylacetate	1.45	15.27
Bêta boubounene	0.95	17.12
<i>Trans</i> -caryophyllene	0.24	18.20

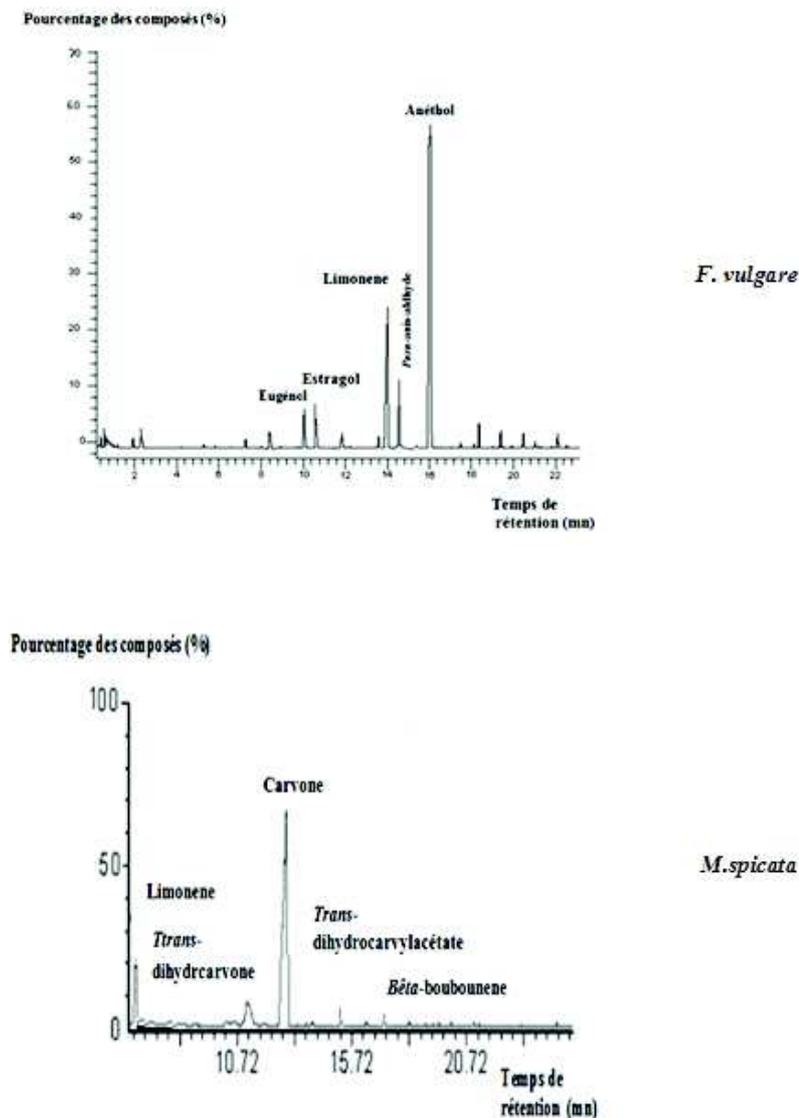


Figure 34 : Chromatogrammes des huiles essentielles de *F. vulgare* et de *M. spicata*

II- Discussion

Les plantes ont été toujours considérées comme étant des ressources biologiques qui ont la capacité de synthétiser une multitude de substances chimiques actives, ces dernières sont des métabolites secondaires. Elles sont impliquées dans la défense des plantes à l'égard des agents pathogènes, des ravageurs et des mauvaises herbes. La compréhension du rôle qu'elles peuvent engendrer dans les mécanismes de défense des plantes a permis leur exploitation dans des programmes de lutte intégrée (Fernando et al., 1999).

A titre d'exemple, les chercheurs ont développé et commercialisé différents insecticides d'origine végétale ; c'est le cas du pyrèthre, la roténone et le neem (Phylogène et al., 2005).

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'efficacité *in vitro* des extraits de trois plantes qui appartiennent à différentes familles botaniques, à savoir les huiles essentielles de *F. vulgare* et *M. spicata*, ainsi que les différents types d'extraits de *P. harmala* sur la mortalité des larves et le potentiel d'éclosion des œufs de *M. incognita*.

Il ressort de nos résultats l'efficacité des différents extraits des fruits de *P. harmala*, notamment l'extrait éthanolique aussi bien sur la mortalité des juvéniles ainsi que le potentiel d'éclosion des œufs. Cette action est attribuée à la richesse des graines en alcaloïdes comme la harmaline et la harmanine celles-ci sont légèrement solubles dans l'eau, l'éthanol et l'éther, tandis que le harman est très soluble dans l'éthanol, le méthanol, l'acétone et l'éther (Mahmoudian et al., 2002).

De ce fait, l'efficacité de ces trois extraits pourrait être expliquée par le degré de solubilité dans l'eau, l'hexane et l'éthanol des alcaloïdes contenus dans les graines. Nous pouvons émettre l'hypothèse que l'efficacité de l'extrait éthanolique sur la mortalité des juvéniles et l'éclosion des œufs de *M. incognita* est due à l'alcaloïde harman.

De même, nos résultats ont révélé également que l'efficacité des fruits de *P. harmala* est très importante par rapport aux feuilles de cette plante. En effet, Han et al., (2006) et El Allagui et al., (2006) ont montré que le profil des alcaloïdes des fruits et des racines de cette plante est le plus riche, suivis des feuilles et des tiges, les capsules et les fleurs en contiennent également d'autres composés comme **les coumarines et les saponines. D'autres constituants comme les quinones libres, et les tanins sont également présents chez *P. harmala* (Idrissi-Hassani, 1999).**

Les graines de *P. harmala* est une source riche en alcaloïdes b-carboline tels que le harmol, la harmine et la harmaline (Kartal et al., 2003). Ces alcaloïdes ainsi que d'autres métabolites secondaires de cette plante expliquent l'effet toxique sur les ravageurs des plantes (Han et al., 2006).

Abdel-Rahman et El-Hamawy (2005), ont montré que l'effet des extraits organiques de *P. harmala* inhibe l'éclosion des œufs de *M. javanica* et diminue la mortalité des larves après une exposition de 24 heures.

D'après Gao et al., 2009, l'efficacité de cette plante a été observée par la mortalité de *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhren) Nickle, à la dose de 6 g/l. La CL 50 le premier jour du traitement est de 1.39 g/l. L'analyse phytochimique de *cette plante* montre que les métabolites secondaires dominants sont les alcaloïdes.

D'après El Allagui et al., 2006, *P. harmala* a un effet nématocide sur la mortalité, l'éclosion et le développement des *Meloidogyne*, cette action a été attribuée essentiellement à la richesse de cette plante en alcaloïdes et en quinones combinées.

Parmi les deux huiles testées, nos résultats ont montré que l'huile de *F. vulgare* est de loin la plus efficace. En effet la plus faible DL 50 est obtenue avec une valeur de 58.58 µl/l pour le *F. vulgare*, par rapport à celle de menthe qui est de 180.66 µl/l pour une durée de 72 heures.

Les plantes appartenant à la famille des *Lamiaceae*, contenant le limonène et le menthol possèdent une forte activité nématocide (Oka et al., 2000). Par ailleurs, il est important de signaler que nombreux travaux ont permis l'identification des composés majoritaires de *M. pelugium*, *M. piperita* comme étant le menthol, le limonène et le 1.8 cinéole. Cependant, *M. spicata* contient en plus de ces constituants le carvone (Ait Chebib et Baha 2005).

L'analyse par G.C/M.S. de deux échantillons de *M. spicata* provenant de la région du Nord-Ouest de l'Inde révèle que le carvone est le composé majoritaire avec 49.62 et 76.65%,

suivi du limonène qui varie entre 9.57 et 22.31%. D'autres composés en très faibles quantités sont présents comme le 1.8 cinéol avec un taux de 1.32 et 2.62%, tandis que *trans*-carvéol varie entre 0.3% et 1.52 (Chauhan et al., 2009).

Ainsi, Benyoussef et al., 2004a, ont rapporté que la composition chimique de l'huile de *M. spicata* prélevée dans la région de Larbaâ (Alger) est riche en carvone avec 52%, suivis de 1.8 cinéol (8%), (Z)-carveol (5%), germacrene D (4.6%), ainsi que d'autres composés sous forme de traces tels que : β -caryophyllene, bourbonene, eugenol, myrcene...etc

En Algérie, l'étude de la composition de l'huile essentielle de *M. spicata* a mis en évidence la présence de carvone comme composé majeur (79.4%) suivis par le 1.8 cinéol (4.3%) puis le limonène (4%) (Khalfi et al., 2006). Ces derniers signalent que le carvone et le 1.8 cinéol sont les principaux composés responsables de la mortalité de *Rhyzoperta dominica* et *Tribolium confusum* ravageurs des denrées stockées.

Nos résultats sont conformes à ceux de Oka et al., (2000), qui montrent l'efficacité des huiles de *M. piperita* et *M. rotundifolia* testées *in vitro* sur les juvéniles de *M. javanica* avec un pourcentage de mortalité respectivement de 71.8 et 100% à une dose de 1000 μ l/l pendant 24 heures. L'inhibition de l'éclosion des huiles de ces plantes a été enregistrée avec une dose de 600 μ l/l vis-à-vis de ce nématode pendant 7 jours de traitement.

De même, l'efficacité de l'huile essentielle de *M. spicata* sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita* aux doses de 250 et 500 ppm a atteint 100% (Pandey et al., 2000). Ces mêmes auteurs signalent que cette espèce est très sensible vis-à-vis des huiles essentielles riches en carvone et limonène en provoquant l'inhibition de l'éclosion des larves aux doses 125, 250, 500 et 1000 ppm après une exposition de 120 heures.

L'analyse chromatographique de l'huile essentielle de *F. vulgare* utilisée au cours de notre expérimentation a décelé la présence de plusieurs composés dont le plus dominant est le *trans*-anéthol (54.76%), le limonène (23.93%) et l'estragol (5.91%).

Selon Telci et al., 2009, le constituant majeur de *F. vulgare* est le *trans*-anéthol avec une teneur variant entre 81.63 et 87.85% au cours des quatre stades de maturation différentes (immature, prématurée, mature et pleine maturité), d'autres composés comme les monoterpènes, pinène, myrcène, limonène, terpinènes sont également présents. Ainsi, l'activité nématocide de *F. vulgare* est due essentiellement aux principales composantes avec (43%) *trans*-anéthole et (6%) limonène et de *M. spicata* avec (58%) Carvone et (19%) limonène.

Selon Oka et al., 2000, les huiles essentielles extraites à partir de *F. vulgare* et *M. spicata* testées *in vitro* aux doses de 600 et 800 μ l/l, ont causé la mortalité de 100% des juvéniles de *M. javanica*. Les différents composés chimiques tels que : les tanins, les saponosides, l'estragol, les phénols sont responsables de la toxicité des nématodes.

En effet, ces composés phénoliques représentent un groupe de métabolite complexe comportant plusieurs dérivés comme les coumarines, les flavones, les anthocyanes, les isoflavones. Leur mode d'action dans la résistance des plantes est multiple et peuvent inhiber les enzymes hydrolytiques comme les pectinases, cellulases, et les protéases et jouent un rôle crucial dans l'inactivation des enzymes ainsi que la biosynthèse des toxines des parasites (El Modafar et al., 2000). Enfin, ils constituent également un des facteurs de défense en formant une barrière mécanique qui empêche la diffusion des toxines des parasites vers l'hôte (EL Modafar et al., 2008).

De même, Ibrahim et *al.*, (2006) ont montré que l'huile essentielle *F. vulgare* réduit l'éclosion à moins de 25%. Cette huile a été également toxique pour les L2 et la CL 50 était de 43 ppm.

Cependant Singh et *al.*, en (2005) rapportent que l'huile essentielle de *F. vulgare* provenant de la région de Gorakhpur (Inde) a révélé que le constituant majeure est le *trans*-anéthole (70.1%), Fenchone (8.6%), Methyl chavicol (4.7%), p-Cymene (3.1%), Limonène (3.1%) et le linalol (1.2%).

En plus de l'effet nématocide des extraits testés, ils possèdent une activité insecticide. Ainsi, les extraits de *P. harmala* à l'égard de *S. gregaria* (Forskal), manifeste une action insecticide qui se traduit par le retard de développement et la perte de poids par rapport aux témoins (**Idrissi-Hassani, 1999**) ; ainsi qu' une diminution de la prise de nourriture menant à une diminution du poids (Idrissi- **Hassani** et *al.* , 2002).

En revanche, Benzara et *al.*, (2010) signalent que les extraits aqueux de *P.harmala* s'avèrent toxiques aux doses de 24 et 4 g/l en provoquant respectivement une mortalité de 80 à 86% des larves de L5 de *S. gregaria* et des modifications morphologiques.

L'application des extraits éthanoliques des graines de *P. harmala* manifestent un effet répulsif sur l'activité de reproduction et la croissance des larves de *Psytalia concolor*(Szépliget)(Rehman et *al.*, 2009).

Un effet herbicide des extraits aqueux de *P. harmala* a été également rapporté sur les graines de *Lactuca sativa* L. et de *Rhaphanus sativus* L. par (Zeghada et *al.*, 2010).

Toutefois, une action fongicide de *F. vulgare* a été notée par plusieurs auteurs. Ainsi, les huiles essentielles de *F. vulgare* et *Origanum syriacum* (*Lamiaceae*) inhibent la croissance mycélienne et réduisent le développement de la maladie dû à *Sclerotinia sclerotinium* de 69 % et 53.3% respectivement (Soylu et *al.*, 2007).

L'efficacité acaricide de l'huile de *M. spicata* sur la mortalité de *Tetranychus cinnabarinus* Boisd (*Acarina* : *Tetranychidae*) aux composés majoritaires carvone (59.35%), limonène (9.87%) et 1.8 cinéole (7.35%) a été signalée ; tandis que la DL50 est de 1.83 µg/ml (Sertkaya et *al.*, 2010).

L'identification par C.G/M.S. de l'huile essentielle de cette plante provenant de deux régions différentes d'Algérie a décelé la présence de carvone à (56.4%) pour la région nord et 79.9% pour la région sud, cette composition est sensiblement identique à celle de *M. spicata* provenant de la région mexicaine citée par Pino et *al.*, 1998 IN : Benyoussef et *al.*, 2004, avec 36.4% de carvone comme composé majoritaire suivie par 14.5% de limonène. L'analyse des données des plantes mentionnées ci-dessus montrent la grande variabilité de la composition chimique, celle-ci est influencée par plusieurs facteurs : les variétés des espèces, leur chémotype, l'origine géographique, la période de récolte, les parties des plantes utilisées, ainsi que le procédé d'extraction (Atti-Santos et *al.* , 2004 ; Durling et *al.*, 2007 ; Khalfi et *al.*, 2008).

Récemment, Brada et *al.*, 2007, ont rapporté que la différence de la composition chimique constatée entre les huiles essentielles est en rapport également avec les facteurs abiotiques tels que le climat spécifique aux régions de provenance des échantillons, les facteurs géographiques comme l'altitude et la nature du sol.

Enfin, concernant le mode d'action de ces huiles, peu de travaux sont réalisés dans ce sens. Ainsi, contrairement aux insectes où ces huiles essentielles peuvent agir comme des fumigants toxiques grâce à leur grande volatilité et étant lipophiles, elles peuvent pénétrer dans la cuticule rapidement et interfèrent ainsi avec les fonctions physiologiques (Negahban

et *al.*, 2006). Chez les nématodes, les mécanismes d'action de ces substances restent encore peu connus. Certains auteurs émettent l'hypothèse de la relative sensibilité des différents

groupes de nématodes aux composés chimiques contenus dans les plantes en fonction de la perméabilité de la cuticule. En effet, les molécules ne pouvant avoir accès aux tissus des nématodes pénètrent à travers la cuticule.

Par ailleurs, Oka et *al.*, 2000, avancent l'hypothèse que le mode d'action est similaire à celui des insectes c'est-à-dire qu'ils agissent par inhibition des acétyl cholinestérase et rapportent que l'action de ces huiles et de leurs constituants pourraient agir au niveau du système nerveux des nématodes.

CONCLUSION GENERALE

Depuis plusieurs décennies, l'agriculture a été tributaire des pesticides de synthèse pour combattre les bioagresseurs, leur efficacité est certes indéniable du fait que ces composés de synthèse possèdent des effets positifs sur les rendements et la qualité des produits agricoles. Malgré leurs avantages, ils causent de sérieux problèmes environnementaux, de la sécurité alimentaire et sur la santé du consommateur. En revanche, actuellement ces préoccupations se sont traduites par des actions politiques à travers de restrictions et limitations de leur utilisation.

Face à ce constat, pour gérer ces bioagresseurs pour une agriculture durable la recherche de procédés alternatifs est indispensable. Ainsi, les biopesticides à base de microorganismes ou de plantes constituent une voie de recherche intéressante et prometteuse vu les avantages qu'elle présente.

C'est dans ce contexte que s'est inscrit l'objectif de notre présente étude qui vise l'évaluation de l'activité nématocide des huiles essentielles obtenues à partir de deux plantes : *F. vulgare*, *M. spicata*, ainsi que les différents d'extraits organiques (éthanolique, hexanique et aqueux) des feuilles et des fruits de *P. harmala* sur la mortalité des larves et l'éclosion des œufs de *M. incognita* testés *in vitro* d'une part, ce travail a été complété par les testes phytochimiques ou encore l'identification des constituants des plantes testées.

Cette évaluation nous a permis de mettre en évidence l'effet des différents extraits à différentes doses sur la mortalité des juvéniles de *M. incognita*, elle nous a montré que le taux maximal de mortalité a été noté lorsque la dose est plus élevée et durant la période d'exposition plus longue. De même, les extraits testés manifestent un effet inhibiteur sur le potentiel d'éclosion des œufs du nématode.

L'efficacité des différents types d'extraits de *P. harmala* aux doses de 100, 50 et 25% sur la mortalité des juvéniles et l'éclosion des œufs de *M. incognita* a été notée. Elle a montré que l'extrait éthanolique de fruits présente le taux de mortalité le plus élevé, cet extrait est efficace même à faible dose ; de plus il manifeste une inhibition plus importante également sur le potentiel d'éclosion par rapport aux extraits hexanique et aqueux des feuilles et des fruits de cette plante.

Parmi les deux huiles essentielles testées, celle de *F. vulgare* a manifesté la plus forte efficacité. Par contre l'huile essentielle de *M. spicata* s'est montrée inefficace aux faibles doses.

Par ailleurs, le screening chimique réalisé sur les feuilles et les fruits de *P. harmala* a mis en évidence les principaux métabolites, et la teneur des principaux composés des huiles essentielles de *F. vulgare* et *M. spicata* a été identifiée par C.G/M.S. (Chromatographie par gaz couplée à la spectrométrie de masse).

Ainsi, le *P. harmala* est caractérisé par sa richesse en alcaloïdes, en saponosides et en coumarines. Chez *M. spicata*, on a décelé la présence de carvone comme constituant majoritaire suivi du limonène, et enfin, la mise en évidence du *trans*-anéthol comme composé principal chez *F. vulgare* et une faible quantité d'estragol et de limonène.

De ce fait, il serait souhaitable de tester ces fractions *in vitro*, afin d'évaluer de façon précise les molécules des composés impliqués dans la toxicité et déterminer leur mécanisme d'action. En effet, ces composés peuvent avoir l'opportunité d'être utilisés comme bio nématicides.

Des investigations sont nécessaires et doivent être complétées par d'autres travaux pour évaluer l'efficacité de ces huiles *in vivo* et déterminer les périodes ainsi que les doses d'application.

D'autre part, des essais dans les conditions naturelles sont souhaitables pour analyser l'impact économique de ces espèces et évaluer la gestion intégrée en incluant des méthodes respectueuses de l'environnement, comme la solarisation du sol, le développement de nouvelles variétés résistantes et la recherche d'antagonistes performants (champignons nématophages et bactéries) contre ces bioagresseurs, pour une gestion durable des écosystèmes agricoles.

Données bibliographiques

- ABBASSI K., ATAY-KADIRI Z. et GHAOUT S., 2003.** Biological effects of alkaloids extracted from three plants of Moroccan arid areas on the desert locust. *Physiology Entomology*, Vol. 28, pp. 232-236.
- ABBOTT W.S., 1925.** A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal Ecological Entomology*, Vol. 18, pp. 265-267.
- ABBS A.K , ANI R.A. et JARJUS M., 2006.** Inhibitor activity of some plant extracts on the multiplication of potato virus (PVY). Nineth Arab Congress of Plant Protection, «12-23 Nov.», (Damascuss)Syrie.
- ABDEL-RAHMAN F. et EL-HAMAWY M. H., 2005.** Phytochimiques bioactifs. *Journal of Nematology*, Vol. 37, pp. 354-405.
- ABU GHARIBIEHB W., HAMDY Z.A., AI YAHIA, F.A. et SELLAMI S., 2010.** Development of Phytonematology, pp. 141-189. IN : *Plant Parasitic Nematodes in Arab Countries*. **AI HAZMI A.S., STEPHAN Z.A., et DAWABAH A. , 2010.** 1^{ère} édition, Ed. Dar Wael, Vol. 1, 586 p.
- A.F.N.O.R., 2000.** Association Française de Normalisation. Norme française : les huiles essentielles, monographie relatives aux huiles essentielles, Ed. Afnor, Paris, 663 p.
- AGRIOS G.N., 2005.** *Plant pathology*, 5^{ème} edition, Ed. Elsevier Academic Press, U.S.A, 922 p.
- AIT CHEBIB M. et BAHA L., 2005.** Les huiles essentielles de la menthe pouliot (*Mentha pulegium*) et du cumin (*Cuminum cyminum*) : analyse et évaluation de l'activité antioxydante. *Mémoire Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach, Alger*, 74p.
- AI HAZMI A.S., DABAJ K.H., KARAJEH M.R. et NEDARI S.N., 2010 .** Biology of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.), pp. 245-284, IN: *Plant Parasitic Nematodes in Arab Countries*. **AI HAZMI A.S., STEPHAN Z.A., et DAWABAH A. , 2010.** 1^{ère} édition, Ed. Dar Wael, Vol. 1, 586 p.
- AMEZIANE N., BOUBAKER H., BOUDYACH H., MSANDA F., JILAL A., et BENAOUMAR A. A., 2007.** Antifungal activity of Moroccan plants against *Citrus* fruit pathogens. *Agronomy Sustain. Development*, Vol. 27, pp. 273-277.
- AMI S. N. et SABAA R.F., 1988.** The influence of degree of acidity on the hatching of *Meloidogyne incognita*. *Journal of Zerâat Errafidine*, Vol. 30, pp. 363-370.
- AMI S.N. et AYOUB I.A., 2009.** Chemical, biological and integrated control of the Root-Knot nematode *Meloidogyne javanica* on cucumber plants. *Arab Journal of Plant Protection*, Vol. 27, Special Issue (Supplement).
- ANONYME, 1984.** LABO, guide pratique de chimie -3- méthodes de séparation, Ed. DELTA et SPES, 174 p.

- ANONYME, 1986.** Nématodes des plantes cultivées. Fiche Acta 192, Ed. Association de Coordination Technique Agricole, 13 p.
- ANONYME, 1991.** Pharmacopée Russe, 11^{ème} édition, tome II, Moscou, 1250 p.
- ANONYME, 1999.** Statistique agricole : Superficie et production, Série «B», Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes de l'Information, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 64 p.
- ANONYME, 2005.** Plantes aromatiques, épices, aromates, condiments et huiles essentielles, Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 336 p.
- ANONYME, 2007.** Index des produits phytosanitaires à usage agricole, Ed. Direction de la Protection des Végétaux et des Contrôles Techniques, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 252 p.
- ANONYME, 2008.** Pharmacopée Européenne, tome 1, Ed. Conseil de l'Europe, Strasbourg, 1170 p.
- ANONYME, 2009.** Statistique agricole : Superficie et production, Série «B», Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes de l'Information, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 64 p.
- ANTONIOU P.P., TJAMOS E.C. et PANAGOPOULOS., 1995.** Use of soil solarization for controlling bacterial canker of tomato in plastic houses in Greece. *Plant Pathology*, Vol. 44, pp. 438-447.
- ATTI-SANTOS A.C., PANSERA M.R., PAROUL N., ATTI-SERAFININ L. et MOYNA P., 2004.** Seasonal variation of essential oils yield and composition of *Thymus vulgaris* L. (*Lamiaceae*) from South Brazil. *Journal of Essential Oil*, Vol. 16, pp. 294-295.
- BAALI OUAMER A., 1987.** Analyse quantitative et semi-quantitative de l'huile essentielle de *Citrus* provenant de la station expérimentale d'arboriculture de Boufarik. Thèse de Doctorat d'Etat en Chimie, Institut de Chimie, U.S.T.H.B., 98 p.
- BELAIR G., 2005.** Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes... par la racine. *Phytoprotection*, Vol. 86(1), pp. 65-69.
- BELLAICHE P., 1979.** L'aromatogramme, Traité de phytothérapie et d'aromathérapie, Ed. M.S.A., Paris, Tome I, 204 p.
- BENYOUCEF E.H., YAHIAOUI N., KHELFAOUI A. et AID F., 2004a.** Water distillation kinetic of spearmint essential oil and of its major components. *Flavour and fragrance journal*, Vol. 20, pp. 30-33.
- BENYOUCEF E.H., YAHIAOUI N., NACER BEY N., KHELFAOUI A. et BELHADJ M., 2004b.** Essential oil of *Mentha spicata* from Algérie *Rivista Italica*, Vol 30, pp. 31-35.
- BENZARA A., KHALFI-HABES O. et LAZIB Z., 2010.** Efficacité des extraits aqueux de *Peganum harmala* sur les larves L5 de *Schistocerca gregaria* (Forsskal, 1775) *Orthoptera (Acrididae)*. Proceedings du 7^{ème} congrès de l'association Marocaine de protection des plantes, «Mai», (Rabat)Syrie, Vol II, 631p.
- BERNARD T., PERINAU F., BRAV O., DELMAS M. et GASET A., 1988.** Extraction des huiles essentielles, *Chimie et technologie, Information chimie* n° 298, pp. 178-184.

- BESRI M., 2009.** Impact du Protocole de Montréal sur les risques phytosanitaires dus aux bio-agresseurs telluriques, Colloque International sur la Gestion des Risques Phytosanitaires, «9-11 Nov.», (Marrakech) Morocco.
- BLOK V.C., JONES J.T., PHILIPS M.S. et TRUDGILL D.L., 2008.** Parasitism genes and host range disparities in biotrophic nematodes : the conundrum of polyphagy versus specialisation. *Bio Essays: News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology*, Vol. 30(3), pp. 249-59.
- BRADA M., BEZZINA M., MARLIER M., CARLIER A., et LOGNAY G., 2007.** Variabilité de la composition chimique des huiles essentielles de *Mentha rotundifolia* du Nord de l'Algérie. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 11, pp. 3-7.
- BRUNETON J., 1999.** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales, 3^{ème} édition, Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 1120 p.
- CAPO M., COURILLEAU V. et VALETTE C., 1990.** Chimie des couleurs et des odeurs. Cultures et techniques. Ed. Maloine, Paris, 204 p.
- CASTAGNONE-SERENO P., 2002.** Genetic variability in parthenogenetic Root-Knot nematodes, *Meloidogyne* spp. and their ability to overcome plant resistance genes. *Nematology*, Vol. 4, pp.770-778.
- CASTILLO P., NICO A.I. et JIMENEZ-DIAZ R.M., 2003.** Solarization of soil in piles for the control of *Meloidogyne incognita* in olive nurseries in southern Spain. *Plant Pathology*, Vol. 4, pp. 605-608.
- CHAUHAN A.R.S., KAULA M.K., SHAHIA A.K., KUMARA A., RAMA G. et TAWAB A., 2009.** Chemical composition of essential oils in *Mentha spicata* L. accession from North-West Himalayan region. *Indiaindustrial Crops and Products*, Vol. 26, pp. 654-656.
- CHELLEMI D.O., 2006.** Effect of urban plant debris and soil management practices on plant parasitic nematodes, *Phytophthora* blight, *Pythium* root of belle Pepper. *Crop Protection*, Vol. 25, pp. 1109-1116.
- COSIMI S., ROSSI E., CIONI P.L. et CANALE A., 2009 .** Bioactivity and qualitative analysis of some essential oils from Mediterranean plants against stored-product pests: Evaluation of repellency against *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Tenebrio molitor* (L.). *Journal of Stored Products Research*, Vol. 45, pp. 125-132.
- COSTA S.S.R., SANTOS M.S.N.A. et RYAN M.F., 2003.** Effect of *Artemisia vulgaris* rhizome extracts on hatching, mortality and plant infectivity of *Meloidogyne megadora*. *Journal of Nematology*, Vol. 35, pp. 437-442.
- CURTO G., DALLAVALLE E. et LAZZERI L., 2005 .** Life cycle duration of *Meloidogyne incognita* and host status of *Brassicaceae* and *Capparaceae* selected for glucosinolate content. *Nematology*, Vol. 7, pp. 203-212.
- DABAJ K.H., STEPHAN Z.A. et DAOUABA A.A.S., 2010 .** Nematode control by using plants and anti-natural products and extracts and legislative methods and organic farming methods and the transfer of traditions and integrated management. p. 1183. ,

- IN : Plant Parasitic Nematodes in Arab Countries. **AI HAZMI A.S., STEPHAN Z.A. et DAWABAH A. , 2010.** 1^{ère} édition, Ed. Dar wael, Vol. 2, 620 p.
- DAVIS E.L., HUSSEY R.S., MITCHUM M.G. et BAUM T.J., 2008.** Parasitism proteins in nematode plant interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, Vol. 11, pp. 360-366.
- DE GUIRAN G. et NETSCHER G., 1970.** Les nématodes du genre *Meloidogyne*, Parasites des cultures tropicales, Cahier O.R.S.T.O.M. Série nématologie, pp. 151-181.
- DE GUIRAN G., 1971.** Le problème des *Meloidogyne* et autres nématodes sur cultures vivrière : tabac, café et riz in les nématodes des cultures, Ed. Acta., Paris, pp. 447-474.
- DE HOFFMAN E., CHARRETTE J. et STROOBANT V., 1999.** Spectrométrie de masse, cours et exercices corrigés, 89 p.
- DEMEURE Y., NETSCHER C., et QUÉNÉHERVÉ P., 1980.** Biology of the plant-parasitic nematode *Scutellonema cavenessi* Sher, 1964 : reproduction, développement and life cycle. *Revue Nématology*, Vol. 3, pp. 213-225.
- DI VITO M., CIANCIOTTA V. et ZACHEO G., 1991.** The effect of population densities of *Meloidogyne incognita* on yield of susceptible and resistant tomato, *Nematology Mediterranean*, Vol. 19, pp. 265-268.
- DJIAN-CAPORALINO C. et PANCHAUD-MATTEI E., 1998.** La lutte biologique contre les nématodes phytosanitaires, *Revue Horticoles*, n° 392, pp. 14-33.
- DJIAN-CAPORALINO C., BOURDY G. et CAYROL J.C., 2005.** Nematicidal and nematode resistant plants in biopesticides of plant origine, Ed. Lavoisier, Paris, 323 p.
- DJIAN-CAPORALINO C., VEDIE H. et ARRUFAT A., 2009.** Gestion des nématodes à galles : lutte conventionnelle et luttés alternatives. *L'atout des plantes pièges Maraichage Bio Infos*, n°61 «juillet -août», pp. 1-6.
- DOHOU N., YAMNI K., TAHROUCH S., IDRISSE HASSANI L.M., BADOUC A. et GMIRA N., 2003.** Screening phytochimique d'une plante endémique ibéro-marocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bulletin de la Société Pharmacologique*, Vol.146, pp. 61-78.
- DOR E. et HERSHENHORN J., 2004.** Metabolite from *Inula viscosa* is toxic to dodder (*Cuscuta campestris*). *Weed Science*, Vol. 52, pp. 326-332.
- DU PLOOY W., REGNIER T. et COMBRINCK S., 2009.** Essential oil amended coatings as alternatives to synthetic fungicides in *Citrus* postharvest management, *Postharvest. Biology and Technology*, Vol. 53, pp. 117-122.
- DURLING, N. E., CATCHPOLE, O. J., GREY, J. B., WEBBY, R. F., MITCHELL, K. A., FOO, L. Y. et PERRY, N. B. 2007.** Extraction of phenolics and essential oil from dried sage (*Salvia officinalis*) using ethanol-water mixtures. *Food Chemistry*, Vol. 101, pp. 1417-1424.
- ECHCHGADDA G., SQALLI H. et AMIRI S., 2010.** Screening de l'activité bionématique de différents extraits de *Thymus zygis* ; Proceedings du 7^{ème} Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes, «Mai», (Rabat) Maroc, 631p.

- EISENBACK J.D. et TRIANTAPHYLLOU H.H., 1991.** Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species and races, IN : **PERRY R.N. et MOENS M., 2006.** Plant nematology. Ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data CABI North American Office. 447 p.
- EL ALLAGUI N., BOURIJATE M., TAHROUCH S. et HATIMI A., 2006.** Effet de cinq extraits végétaux sur *Meloidogyne* spp. de la tomate, Biochimie, Substances Naturelles et Environnement, Congrès International de Biochimie, «09-12 Mai», (Agadir) Maroc, pp. 357-360.
- EL BADRI G.A.A., LEE D.W., PARK J.C. et CHOO H.Y., 2010.** Nematicidal efficacy of herbal powders on *Meloidogyne incognita* (Tylenchida : Meloidogynidae) on potted watermelon. Journal of Asia-Pacific Entomology, Vol. 12, pp. 37-39.
- EL MODAFAR, TANTAQUI A. et EL BOUSTANI., 2000.** Changes in Cell wall-bound phenolic Compounds and Lignin in Roots of Date Palm Cultivars Differing in susceptibility to *Fusarium oxysporum* f.sp. albedinis. Jour. Phytopathology, 148: 405-411.
- EL MODAFAR C., EI BOUSTANI E.S.S. et EI AABIDINE A., 2008.** Rôle des polyphénols dans la défense des plantes contre les phytopathogènes IN : **REGNAULT- ROGER C., PHILOGENE B.J.R. et VINCENT C., 2005.** Biopesticides of plant origin. Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris. 313 p.
- FABORICINI C. et FABORICINI V., 1999.** Comment se soigner avec l'aromathérapie, Ed. Devecchi, Italie, 97 p.
- FINNEY D.J., 1971.** Statistical Methods in Biological Assay. 2nd edition, Edd Griffin, London, 333 p.
- FERNANDO A., RING F., LOWE D. et CALLAM B., 1999.** Index of plant pathogens, plant-associated microorganisms and forest fungi of British Columbia. NRCan, Canadian Forest Service, Forest Biodiversity Network, Pacific Forestry Center, Victoria, BC. Information report BC-X-385.
- FERRIS H. et VANGUNDY S.D., 1979.** *Meloidogyne* ecology and host interrelationships. IN : Lamberti and Taylor (Root-Knot nematode), Ed. Acad. Press, London, pp. 205-230.
- FUNK A. et WAGUALLS L., 2004.** Science Encyclopedia, Ed. Palm Os, 123 p.
- GAO W., ZHU G. et LIU Q., 2009.** On the nematocidal activity of *Ammopiptanthus mongolicus* and *Peganum harmala* L. against *Bursaphelenchus xylophilus*. Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition), Vol. 03, pp. 123-145.
- GIANNAKOU I.O., ANASTASIADIS I.A., GOWEN S.R. et PROPHETOU-ATHANASIADOU D.A., 2007.** Effects of a non-chemical nematocide combined with soil solarization for the control of Root-Knot nematodes. Crop Protection, Vol. 26, pp. 1644-1654.
- GUIGNARD J-L., 2000.** Biochimie végétale, 2^{ème} édition, Ed. Dunod, Paris, 274 p.
- HACHEMI S., 2009.** Activité antifongique des extraits de *Peganum harmala* à l'égard de quelques champignons phytopathogènes. Mémoire Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach, Alger, 47 p.

- HAN M-K., KIM S.I. et AHN Y-J., 2006.** Insecticidal and antifeedant activities of medicinal plant extracts against *Attagenus unicolor japonicus* (Coleoptera : Dermestidae), Journal of Stored Products Research, Vol. 42, pp. 15-22.
- HIRSCHMAN H., 1985.** The classification of the family Meloidigynidae. Pp. 35-45 IN: **SASSER J.I. et CARTER C.C.,** Ed. An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Vol. I, Biology and Control. North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C. U.S.A. 422 p.
- HOMAM B. H., EI-Z. SHARKAWY A., ZEIDAN H. A., ABD EI-WAHAB A. et EL-MOXAFY H. E. A. 2009.** Phytochemical and toxicological effect of certain plant extracts against potato tuber moth *Phthorimaea operculella* green peach aphid, *Mysus persicae*. Arab Journal of Plant Protection. Vol. 27, Special Issue (Supplement).
- IBRAHIM SAID K., TRABOULSI A. F. et EL-HAJ S., 2006.** Effect of essential oils and plant extracts on hatching, migration and mortality of *Meloidogyne incognita*. Phytopathologia Mediterranea, Vol. 45, pp. 238-246.
- IDRISSI-HASSANI L.M., 1999.** Analyse phytochimique de l'Harmel, *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) et étude de ses effets sur le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskal (1775), (Orthoptera, Acrididae), Thèse de Doctorat d'Etat, Université Ibnou Zohr, (Agadir) Maroc, 198 p.
- IDRISSI HASSANI L.M., OULD AHMEDOU M.L., MAYAD E.H. et BOUAICHI A., 2002.** Pouvoir insecticide de *Peganum Harmala* sur *Schistocerca Gregaria* : Effets de l'huile et des extraits de feuilles. Biologie et Santé, Vol. 2, pp. 122-133.
- 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). Zoology Baetica, Vol. 19, pp. 71-84.
- ISMAN, M. B. 2006.** The role of botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated word. Annual Review Entomology, Vol. 51, pp. 45-66.
- ISRAEL S., MAWAR R. et LODHA S., 2005.** Soil solarization, amendements and bio-control agents for the control of *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *cumini* in arid soils, Annals of Applied Biology, Vol. 146 (4), pp. 481-491.
- JAVED N., GOWEN S.R., INAN-ULHAQ M., ABDULLAH K. et SHAHINA F., 2007.** Systemic and persistent effect of neem (*Azadirachta indica*) formulations against Root Knot nematodes *Meloidogyne javanica* storage life. Crop protection, Vol. 26, pp. 911-916.
- KARSSSEN G., 2002.** The plant-parasitic nematode genus *Meloidogyne* Goldi, 1892 (*Tylenchida*) in Europe, Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands, 157 p.
- KARSSSEN G. et MOENS M., 2005.** Root-Knot nematodes in Plant Nematology, Ed. Perry R. and Moens M., CAB. International, 440 p.
- KARTAL M., ALTUN M.L. et KURUCU S., 2003.** H.P.L.C. method for the analysis of harmol, harmalol, harmine and harmaline in the seeds of *Peganum harmala* Journal of Pharmacology Biomedical Annals, Vol. 31, pp. 263-269.
- KATAN J., 1981.** Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests. Annual Review of phytopathology, Vol. 19, pp. 211-236.

- KHAEIR A.M., AMIN W.A., HENDY H.H. et MOSTEPHA S.M., 2004.** Effect of different inoculum levels of *Meloidogyne incognita* on nematode reproduction and host response of four banana cultivars under greenhouse conditions. Arab Journal of Plant Protection. Vol. 22, pp. 97-102.
- KHALFI O., BENYOUCEF E.H. et YAHIAOUI N., 2006.** Extraction, analysis and insecticidal activities of spearmint essential oil from Algeria against *Rhizopertha dominica* (Coleoptera : Bostrichidae). Flavour and Fragrance Journal, Vol. 9, pp. 17-21.
- KHALFI O., SAHRAOUI N., BETAHAR F. et BOUTEKDJIRET C., 2008.** Chemical composition and insecticidal properties of *Origanum glandulosum* (Desf) essential oil from Algeria. Journal Science Food and Agriculture, Vol. 88, pp. 1562-1566.
- KIEWNICK S. et SIKORA R.A., 2006.** Biological control of the Root-Knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strains 251. Biological Control, Vol. 38, pp. 179-187.
- KIM S-I., ROHA J-Y., KIM D-H., LEE H-S. et AHN Y-J., 2003.** Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. Journal of Stored Products Research, Vol. 39, pp. 293-303.
- KOHLI R.H , BATISH D.R et SINGH H.P. , 2006.** Allelopathic interactions in agroecosystems. Allelopathy, Vol. 6, pp. 465-493.
- KOKALIS-BURELLA N. et RODRIGUEZ-KABANA R., 2006.** Allelochemicals as biopesticides for management of plant parasitic nematodes. Allelochemicals, Biological Control of Plant Pathogens and Diseases, Ed. Inderjit et Mukerji, pp. 15-29.
- KORAYEM A.M., 2003.** Effect of some organic wastes on *Meloidogyne incognita* development and tomato tolerance to the nematode. Egyptian Journal of Phytopathology, Vol. 31(1-2), pp. 119-127.
- LAOUER H. et EL KOLLI M., 2009.** Effect of *Amnoides pusilla* and *Thymus nimidicus* essential oils on *Pseudomonas syringae*. Colloque International sur la Gestion des Risques Phytosanitaires, «9-11 Nov.», (Marrakech) Morocco.
- LEE C.H., SUNG B-K. et LEE H.S., 2006.** Acaricidal activity of fennel seed oils and their main components against *Tyrophagus putrescentiae*. A Stored-Food Mite, Vol. 42, pp. 8-14.
- LEELA N.K. KHAN R.M. REDDY P.P et NIDIRY E.S.J., 1992.** Nematicidal activity of essential oil of *Pelargonium graveolens* against the Root-Knot nematode *Meloidogune incognita*. Nematology Mediterranean, Vol. 20, pp. 57-58.
- LEGER J.E., 1989 ;** Techniques de l'ingénieur, génie des procédés chimiques J2. 782-3. Ed. Debaene, 2(360-860) p.
- MAHMOUDIAN M., JALILPOUR H. et SALEHIAN P., 2002.** Toxicity of *Peganum harmala*. Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics, Vol. 11, pp. 1-4.
- MAKHLOUF H., 2002.** Les huiles essentielles du romarin et du clou de girofle, approche analytique et active antioxydante sur une huile alimentaire. Mémoire Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach, Alger, 32 p.

- MARTINI M.C et SEILLER M., 1992.** Actifs et additifs en cosmétologie. Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 431 p.
- MATEILLE T., 2007.** Gestion des nématodes phytoparasitaires : de l'approche thérapeutique à l'approche écologique. Prociding Séminaire International. APEFEL, «18-19 Mai» (Agadir) Maroc, p. 28.
- MATEILLE T., FOULD S. DABIRE K.R., DIAOP M.T. et NDIAYA S., 2009.** Spatial distribution of the nematode biocontrol agent *Pasteuria penetrans* as influenced by its soil habitat. Soil Biology et Biochemistry, Vol. 41, pp. 303-308.
- MEZERKET A., 2005.** Evaluation de l'activité nématocide de quelques plantes contre *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Chitwood 1949 (*Nematoda* : *Meloidogynidae*). Mémoire Ing. I..N.A. El-Harrach, Alger, 62 pp.
- MINUTO A., SPADARO D., GARIBALDI A., et GULLINO M.L., 2005.** Control of soilborne pathogens of tomato using a commercial formulation of *Sterptomyces griseoviridis* and solarization. Crop Prot. Vol. 25, pp. 468-475.
- MOKRINI F. et ANDALOUSSI F.A., 2010.** Effect of some plant extracts and essential oil on Root-Knot nematodes (*Meloidigyne incognita*) of tomato in the Gharb region (Morocco).National Institute for Agronomic Research, Laboratory ofNematology, Kenitra Morocco. III International Symposiumon Tomato Diseases«25-30 July», (Ischia N.A) Italy.
- MORRA L., BILOTTO M. et DE MAIO M., 2005.** Difesa integrata del peperone contro la concrena pedale. Orticulture, Vol. 14, pp. 53-57.
- NEGHBAN M., MOHARRAMIPOUR S. et SEFIDKON F. 2006.** Insecticidal activity and chemical composition of *Artemisia siberi* Besser essential oil from Karaj, Iran. Journal Asian Pacific Entomology, Vol. 9, pp. 61-66.
- NTALLI N.G., MENKISSOGLU-SPIROUDI U., GIANNAKOU I.O. et PROPHETOU-ATHANASIADOU D.A., 2009.** Efficacy evaluation of a neem (*Azadirachta indica* A. Juss) formulation against Root-Knot nematodes *Meloidogyne incognita*. Crop Protection, Vol. 28, pp. 489-494.
- OKA, Y., NACAR, S., PUTIEVSKY, E., RAVID, U., YANIV, Z., et SPIEGEL, Y., 2000.** Nematicidal activity of essential oils and their components against the Root-Knot nematode. Phytopathology, Vol. 90, pp. 710-715.
- OKA Y., 2010.** Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments. Applied Soil Ecology, Vol. 44, pp. 101-115.
- OPARA E.U. et OBANI F.T., 2010.**Performance of Some Plant Extracts and Pesticides in the Control of Bacterial Spot Diseases of *Solanum*.Agricultural Journal, Vol. 5, pp. 45-49.
- ORTON W.K., 1973.** *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne arenaria* and *Meloidogyne incognita*. C.I.H. Description of Plant Parasit Nematode, Vol. 18, pp. 1-15.
- PANDEY R. , KALRA A. , TANDON S. , MEHROTRA N. , SINGH N. et KUMAR S. , 2000.** Essential oils as potent sources of nematicidal compounds. Journal of Phytopathology, Vol. 148, pp. 501-502.
- PARIS R.R. et MOYSE H., 1965.** Précis de Matière médicale, tome II : pharmacognosie spéciale. Ed. Masson et Cie, Tome I, 511 p.

- PARK I.K., KIM K-H., CHOI K.S., CHOI I.H., KIM C.S., et SHIN S.C., 2005.** Nematicidal activity of plant essential oils and components from garlic (*Allium sativum*) and cinnamon (*Cinnamomum verum*) oils against the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). *Nematology*, Vol. 7, pp. 767-774.
- PEREZ M.P., NAVAS-CORTES J.A., PASCUAL-VILLALOBOS M.J., et CASTILLO P., 2003.** Nematicidal activity of essential oils and organic amendments from *Asteraceae* against Root-Knot nematodes. *Plant Pathology*, Vol. 52, pp. 395-401.
- PERRY R.N. et MOENS M., 2006.** Plant nematology. Ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data CABI North American Office. 447 p.
- PHYLOGEN B.J.R., FABRES G. et REGNAULT- ROGER C., 2005.** Protection des cultures, environnement et développement durable IN : **REGNAULT-ROGER C., FABRES G. et VINCENT C., 2005.** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement, Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 1013 p.
- PIBIRI M-C., 2005.** Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huiles essentielles. Thèse de Doctorat. La Faculté Environnement Naturel, Architecture et Construit. Institut des infrastructures, des Ressources et de l'Environnement. Section d'Architecture. Ecole Polytechnique Fédérale de Lansanne, Suisse, 177 p.
- PINO J.A., ROSADO A. et FUENTES V., 1998.** Essential Oil of *Mentha spicata* (L.) from Cuba. *Journal Essential Oil*, Vol. 10, pp. 657-659 IN : **BENYOUCEF E.H., YAHIAOUI N., NACER BEY N., KHELFAOUI A. et BELHADJ M., 2004 b.** Essential oil of *Mentha spicata* from Algéria *Rivista Italica*, Vol 30, pp. 31-35.
- REBOUH K., 2006.** Evaluation de l'efficacité des extraits aqueux de quelques plantes dans la lutte contre l'orobanche. Mémoire Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach, Alger, 50 p.
- REGNAULT- ROGER C., PHILOGENE B.J.R. et VINCENT C., 2005.** Biopesticides of plant origin. Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris. 313 p.
- REGNAULT-ROGER C., 2005.** Molécules allélochimiques et extraits végétaux dans la protection des plantes IN : **REGNAULT-ROGER C., FABRES G. et VINCENT C., 2005.** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement, Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 1013 p.
- REHMAN J.U., XIN-GENG W., MARSHALL W.J., KENT M.D., GHULAM J. MIR A.K, et FRANK G.Z., 2009.** Effects of *Peganum harmala* (*Zygophyllaceae*) seed extract on the olive fruit fly (*Diptera : Tephritidae*) and its larval parasitoid *Psytalia concolor* (*Hymenoptera : Braconidae*). *Journal of Economic Entomology*, Vol. 102, pp. 2233-2240.
- REINA Y., CROZZOLI R. et GRECO N., 2002.** Efecto nematocida del extracto acuoso de hojas de algodón de seda sobre diferentes especies de nematodos fitoparasis. *Fittopologia Venezolana*, Vol. 15, pp. 44-49.
- RICHARD H. et MULTON J.L., 1992.** Les arômes alimentaires, Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 436 p.
- ROSE A. E., 1965.** Technique of organique chemistry, Vol. IV : Distillation. Ed. JohnWiley et Sons. New York. pp. 1-30 IN : **HERNANDEZ OCHOA L.,**

2005. Substitution de solvants et matières actives de synthèse par une combine «solvant/actif» d'origine végétale. L'Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 224 p.
- SALLE J-L ., 1991.** Les huiles essentielles, synthèse d'aromathérapie et introduction à la sympathothérapie. Ed. Frison-Roche, Paris, 167 p.
- SALVIDAR R.H., SALAS-HERNANDEZ M.A. et CORONADO-LEZA A ., 2003.** Efecto de la solarización de suelos e incorporación de estiércol caprino en el control de malezas y rendimiento de melon (*Cucumis melo* L.). *Agrochimica*, Vol. XLVII, pp. 227-235.
- SASANELLI N., ATTILA A., D'ADDABBO T. et TAKACS T. .2007.** Nematicidal properties of leaf extracts of *Ruta graveolens* inoculated with *Arbuscular mycorrhizal fungi*. *Russian Journal of Nematology*, Vol. 15, pp. 65-73.
- SASANELLI N., D'ADDABBO T., CICCARESE F. et RENCO M., 2008.** Nematicidal activity of biocontrol agent *Aphanocladium album* grown on different substrates. Eurobiotech, *Acta Biochimica Polonica*, Vol. 55(4) : 51(Abstract).
- SCOTTO LA MASSESE J.C., 1962.** Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasitaires en Algérie. Ass. Coor. Agri. F.N.H.P.C. Versailles, pp. 83-105.
- SELLAMI S. et MOUFFAREH A., 1994.** Effet des extraits aqueux de quelques plantes nématicides sur la mortalité et l'éclosion de *Meloidogyne incognita*. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent*. Vol. 59/2b. pp. 813-816.
- SELLAMI S. et CHEIFA H., 1997.** Effet de *Tagetes erecta* contre les *Meloidogyne* sur une culture de tomate sous abri plastique. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.*, Vol. 62 (3a), pp. 737-740.
- SELLAM S., LOUNICI M., EDDOUD A. et BENSGHIR H., 1999.** Distribution et plantes hôtes associées aux *Meloidogyne* sous abri plastique en Algérie. *Nematologie Méditerranéenne*, Vol. 27, pp. 295-301.
- SELLAMI S. et LOUNICI M., 2000.** Control of Root-Knot nematode by solar heat on tomato. *Seven Arab Congress of Plant Production*, pp. 22-26.
- SELLAMI S. et ZEMMOURI H., 2001.** Effect of *Tagete erecta* on the mortality, hatching and development of *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Acta Phytopathologica and Entomologica Hungarica*, Vol. 36 (3-4), pp. 383-387.
- SELLAMI S., MEZEKET A. et DAHMANE T., 2009.** Evaluation de l'efficacité de quelques huiles essentielles contre *Meloidogyne incognita* (*Nematoda* : *Meloidogynidae*). Colloque International sur la Gestion des Risques phytosanitaires, «09-11 Nov.», (Marrakech) Maroc, pp. 411-418.
- SERI-KOUASSIA B. P., KANKO C., NONDENOT ABOUA L.R., BEKONC K.A., GLITHO A.I., KOUKOUA G. et N'GUESSAN Y.T., 2004.** Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé. *Comptes Rendus Chimie*, Vol. 7, pp. 1043-1046.
- SERTKAYA E., KAYA K. et SOYLU S., 2010.** Acaricidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the carmine spider mite (*Tetranychus*

- cinnabarinus* Boisd.) (*Acarina* : *Tetranychidae*). Industrial Crops and Products, Vol. 31, pp. 107-112.
- SIDDIQUI M. A., 2005.** Management of plant parasitic nematode by soil solarization. Plant Disease, Vol. 38, pp. 165-173.
- SINGH P., BATISH D R. SETIA N., et KOHLI R.K., 2005.** Herbicidal activity of volatile oils from against *Parthenium hyterophorus*. Annals of Applied Biology, Vol. 146, pp. 89-94.
- SOLER-SERRATOZA A., KOKALIS-BURELLE N., RODRIGUEZ-KABANA R., WEAVER C.F. et KING P.S., 1995.** Allelochimicals for control of plantparasitic nematodes *in vivo* nematocidal efficacy of thymol and thymol-benzaldehyde combinaisons. Nematotopica, Vol. 26, pp. 57-71.
- SOYLU S., YIGITBAS H., SOYLU E.M. et KURT S., 2007.** Antifungal effects of essential oils from oregano and fennel on *Sclerotinia sclerotiorum*. Journal of Applied Microbiology, Vol. 103, pp. 1021-1030.
- STAPLETON J.J., 2000.** Soil solarization in various agricultural production systems. Crop Protection, Vol. 19, pp. 837-841.
- STARR J. L., HEALD C. M., ROBINSON A. F., SMITH R. G., et KRAUZ J. P. 1993.** *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* and associated soil textures from some cotton production areas of Texas. Supplément Journal Nematology, Vol. 25, pp. 895-899.
- STEPHAN Z.A. et ABU-GHARBIEH W.A., 2010.** Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.) Damage, pp. 285-327, Losses and Control IN: Plant Parasitic Nematodes in Arab Countries. **AI HAZMI A.S., STEPHAN Z.A., STEPHAN Z.A. et DAWABAH A. , 2010.** 1^{ère} édition, Ed. Dar wael, Vol. 1. 586 p.
- TARAI N., DOUMANDJI S., HARZALLAH H. et ACHOURA A., 2009.** Effect of plant extracts of *Peganum harmala* against withefly : *Bemisia tabacci* A.T Doucen ; Biskra Oasis, Algerie. Abstract book of 10^t Arab Congress of Plant Protection. «26-30 Oct. », (Beirut) Lebanon, pp. 26-30.
- TELPON T., 2005.** ABC des huiles essentielles. Ed. Grancher, Canada, 398 p.
- TELCI I., DEMIRTAS I. et SAHIN A., 2009.** Variation in plant properties and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) fruits during stages of maturity Industrial Crops and Products, Vol. 30, pp. 126-130.
- VALNET J., 1980.** Aromathérapie, traitement des maladies par les essences de plantes. Ed. Maloine, Paris, 115 p.
- VANDAMME V., HOEDEKIE A. et VIAENE N., 2005.** Long term efficacy of *Pochonia chlamyosoria* for management of *Meloidogyne javanica* in glasshouse crops. Nematology. Vol. 7, pp. 727-736.
- VASANTHARAJ DB, 2008.** Biotechnological approaches in IPM and their impact on environment. Journal of Biopesticides. pp. 01-05.
- VEDIE H. et AISSA-MADANI A.C., 2008.** Quelles plantes insérer dans les rotations pour diminuer les populations de nématodes à galles? Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques, « 16-17 Déc », (Montpellier) France, pp. 69-75.

- VIAN N., COYNE D.L., et KERRY B., 2006.** Biological control in Perry R. and Moens M., Plant Nematology. pp. 346-369.
- WEZEMZAEL W.M.L., PERRY R.N. et MOENS., 2006.** The influence of root diffusate and host age on hatching of the Root-Knot nematodes, *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne fallax*, Nematology. Vol. 8, pp. 895-902.
- WHITEHEAD A.G., 1998.** Sedentary endoparasits of roots and tubers *Meloidogyne* and *Nacobbus* in plant nematode control. Ed. C.A.B. International. London, 384p.
- ZASADA I.A. et TENUTA M., 2008.** Alteration of the soil environment to maximize *Meloidogyne incognita* suppression by an alkaline-stabilized biosolid amendment. Applied Soil Ecology. Vol. 40, pp. 309-317.
- ZEGHADA F.Z., FASLA A., BENNACEUR M. et MAROUF A., 2010.** Activite allelopathique de *Tetraclinis articulata* mast (vahl) et *Peganum harmala*. 2nd International Conference on Biotechnology, Biotechworld : Startups and Biotechnology «26-29 Avr.», (Oran) Algeria.

Annexe

Annexe 1 : Les nématicides homologués en Algérie (Anonyme, 2007).

Nom commercial	Matière Active	Concentration	Formulation	Ravageur	Cultures	Doses d'utilisation	Firme
Les fumigants							
BASAMID	Dazomet	98%	Granulé Dispersible	Nématodes du sol	Toutes Cultures	500 kg/ha	Sofapro Basf
DACRON	Dazomet	98%	Granulé	Nématodes	Toutes Cultures	30-40 g/m ²	Vapco
DDP FUMIGANT	1,3 Dichloropropène	92%	Concentre Soluble	Nématodes à kyste	-Cultures Maraichères -Tabac -Plantes Ornementales	170 l/ha	Phyto-Plus
FUMICAL	Metam-Sodium	510 g/l	Concentre Soluble	Nématodes	Toutes Cultures	1000 l/ha	Calliope
HEXONATE	Hexaconazole	5%	Concentre Soluble	Nématodes du sol	-Tomates -Cultures Légumières	30 kg/ha	Phyto-Plus
PHEONIX	Lambda-cyhalothrine	5%	Concentre Soluble	Nématodes	-Agrumes -Tabac -Arbres Fruitières	250 ml/ha 250 ml/ha 170 ml/ha	Agricom
TELONE II	Dichloropropène	1108 g/l	Concentre Soluble	Nématodes	-Arbres Fruitières -Cultures Maraichères -Horticulture -Vigne	170 l/ha 170 l/ha 170 l/ha 500 l/ha	Dow Agro Sciences
Les systémiques							
ELMOCAP	Ethoprophos	10%	Granulé	Nématodes du sol	-Tomate -Cultures Légumières -Pomme de terre	30 kg/ha	Phyto-Plus
MOCAP	Ethoprophos	10%	Granulé	Nématodes	-Cultures Maraichères sous serre -Cultures Maraichères extra primaire -Cultures Maraichères Primeurs	2X50 kg/ha 2X50 kg/ha 30-50 g/pied	Aveniris
NEMATHORINE	Fosfite	10%	Granulé	Nématodes	-Cultures Légumières -Pomme de terre	12 ou 30 kg/ha-DAR 21 jns	Syngenta
NEMACUR	Phenamiphos	10%	Granulés	Nématodes	-Bananiers -Betterave sucrière -Carottes -Concombre -Pomme de terre -Cultures Ornementales -Tabac -Tomate	30-50 g/pied 30-40 kg/ha 30 kg/ha 30 kg/ha 30 kg/ha 30 g/m ² 30 kg/ha 30 kg/ha	Bayer
NEMACUR 240 CS	Phenamiphos	240 g/l	Suspension Concentrée	Nématodes	-Toutes Cultures Sous Serres -Tomates en plein champ -Courgettes -Melon	20-40 l/ha	Bayer
NEMASOL 510	Phenamiphos	240 g/l	Solution	Nématodes	-Toutes Cultures	1000-1200 l/ha	UCB
NIMAPHOS 10g	Ethoprophos	10%	Granule	Nématodes du sol	-Arbres Fruitières -Cultures Légumières -Grandes Cultures	15-30 kg/ha	Acti/Rivale
VIDATE 10 g	Oxamyl	100 g/kg	Granule Dispersible	Nématodes	-Ail -Oignons -Agrumes -Bananiers	50 kg/g	Du Pom de Nemous
SINCOGIN	Acides Gras Palmiques, Oleiques, Linoléiques Nucleiques ADN + ARN Oligoéléments	PPM	Liquides	Nématodes	Cultures Maraichères	1 l/ha	Agriculture Sciences
		0.56% + 99.44%	Concentre Soluble	Nématodes	-Arbres Fruitières -Palmier Dattier -vigne	2 l/ha	Agritec/ Zerouki Agsci-Dallas

Annexe 2 : Caractéristiques des plantes étudiées.

- L'harmel



Peganum harmala L. (Original)

- **Famille** : Zygophyllaceae.
- **Noms latins** : *Peganum harmala* L.
- **Noms vernaculaires arabes** : Harmal, L'Harmal au Maroc,
- **Harmal sahari** (Algérie), Bizr el harmal et Mejnenna (Mahabella) en Egypte.
- **Noms communs** : Rue verte, Rue sauvage, Pégane, Rue de Syrie, Gomme de chacal.
- **Noms berbères** : Bender tiffin, Tahchat-M'Kira.
- **Origine** : originaire du Moyen-Orient, de l'Europe du Sud et de l'Afrique du Nord.
- **Historique** : le nom générique est peut être dérivé d'un nom grec, signifiant : «herbe», elle est utilisée depuis les temps les plus reculés, au Moyen-Orient comme poison ; et en tant que plante médicinale (vermifuge, emménagogue, etc...).
- **Description botanique** : c'est une plante herbacée vivace, à tige rameuses très feuillées, atteignant 80 cm de haut, disparaissant en hiver, dégageant une forte odeur désagréable et sa saveur est amère. Les feuilles sont vertes alternes sessiles, à profondes, et nombreuses divisions linéaires, se terminant en pointe. Les fleurs blanches jaunâtres solitaires au sommet des rameaux, elles fleurissent au printemps. Le fruit est une grande capsule de la grosseur d'un pois, de forme sphérique ou subsphérique ; entouré par un calice persistant comprenant plusieurs graines qui sont petites, anguleuses, de forme subtriangulaire ; et renfermant un colorant rouge.
- **Répartition géographique** : c'est une espèce très commune dans les zones sèches de l'Europe, très répandue dans les zones arides méditerranéennes de l'Afrique, et en Asie elle peut atteindre les steppes de l'Iran, du Pakistan, du Turkiston jusqu'au Tibet et la Sibérie. En Algérie, cette espèce est très commune dans la zone littorale,

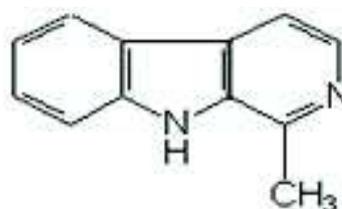
les plaines littorales, l'Atlas tellien et les Hauts Plateaux de l'Oranais, de l'Atlas saharien de l'Algérois, dans les Hauts plateaux de l'Atlas saharien du Constantinois (Aurès), et au nord du Sahara. Par contre, elle est rare dans le Sahara Central ; et absente en Kabylie.

- **Biotope** : c'est une espèce qui se développe dans les sols un peu nitrés, où elle abonde surtout les terres incultes, terrains pâturés, sols sablonneux; et elle pousse aussi dans les sols salins des régions semi-désertiques.
- **Récolte**: la récolte des graines s'effectue durant l'été.
- **Partie utilisées** : parties aériennes (graines et feuilles) et parties souterraines.
- **Composition chimique** : la plante contient des alcaloïdes, surtout les graines (4%) et les racines (3%), les feuilles (0.52%) et les tiges (0.36%).

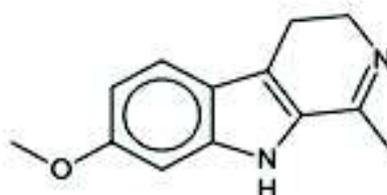
Les graines ont une structure parfaitement connue, comporte un noyau indole et un noyau pyridine associés : harmane, harmine, harmaline et harmol.

La plante renferme aussi des acides aminés, des flavonoïdes, des composés fluorescents, et un pigment rouge.

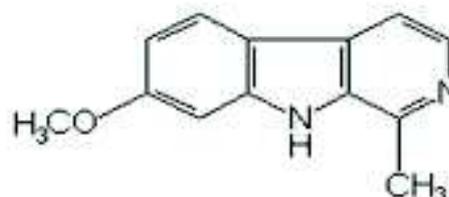
Harmane: C₁₂ H₁₀ N₂



Harmaline: C₁₃ H₁₄ N₂O



Harmine: C₁₃ H₁₂ N₂O



Harmalol (Harmol): C₁₂ H₁₂

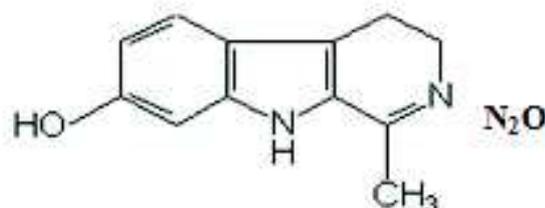


Figure 35 : Structure des principaux alcaloïdes de *Peganum harmala* L. (Bruneton, 1999).

Usages et propriétés thérapeutiques: c'est à ces alcaloïdes que la drogue doit ces propriétés excitantes du système nerveux central. Cette plante est très utilisée en médecine traditionnelle algérienne et maghrébine pour traiter ces différents troubles : gynécologiques, digestifs, cutanés, infectieux mais à de faibles doses car elle est très toxique. Lors de l'emploi de cette plante, parfois conseillée comme anthelminthiques, des troubles circulatoires, des convulsions ou des phénomènes de paralysie sont observés chez l'Homme.

- La menthe verte



***Mentha spicata* L. (Original)**

- **Famille :** *Labiaceae*.
- **Noms latins :** *M. viridis* L. , *M. spicata* L., *M. crispata* (SCHRAD.).
- **Nom arabe :** naânaâ.
- **Noms communs :** Menthe verte, Menthe douce, Menthe crépue, Menthe romaine, Menthe aquatique, Baume vert.
- **Historique :** *Mentha* vient de Menthê, nom grec d'une Nymphé dont s'éprit Hadès, Dieu des enfers. Perséphone, sa femme, les surprit en pleins ébats amoureux, et furieuse, jeta Mintha par terre la piétina, l'écrasa et elle se transforma en plante ; elle est utilisée à des fins culinaires et pour ses vertus médicales.
- **Origine :** son origine est incertaine, mais il s'agit probablement d'un hybride issu de *Mentha longifolia* (L.) HUDS. et de *Mentha suaveolens* EHRH.
- **Description botanique :** c'est une herbacée drageonnante , très odorante, qui fleurit chaque printemps, aux tiges quadrangulaires de 80 cm de haut, souvent ramifiées, plus au moins glabres et d'une couleur vert sombre. Ces feuilles sont d'un vert clair brillant, sessiles, dentées en scie, ovales, lancéolées. L'inflorescence est en épis, situé à l'aisselle des feuilles ; ses fleurs presque régulières, roses ou violettes sont disposées en épis terminaux, elle fleurit au milieu de l'été jusqu'à mi-novembre. Les tiges sont rameuses et droites, de couleur verte ou rougeâtre. Le fruit, est en 4 paires ovoïdes, parfois verruqueuses (hérissées de petites excroissances).
- **Répartition géographique :** c'est une plante d'origine européenne, les pays producteurs des espèces cultivées sont les Etats-Unis, l'Argentine, la Grande Bretagne, la France, le Maroc, la Roumanie, la Bulgarie, l'ex-U.R.S.S. ainsi que l'Afrique du Sud et les Emirats Arabes Unis.

En Algérie, on trouve plusieurs espèces cultivées ou spontanées.

- **Biotope** : elle croit dans les lieux humides, et se cultive en terrains assez humides et ombragés, elle supporte le froid, moins sensible aux parasites et aux maladies que *Mentha piperita* (menthe poivrée) ; elle est aussi rare en montagne.

C'est une plante qui caractérise la flore des garrigues.

- **Type de multiplication** : on la multiplie par voie végétative ou par semis.
- **Semis des graines** : le semis s'effectue de Mars à Avril en pépinière, assez forts, le semis en place il se réalise directement à partir du mois de Mai, l'espacement de semis et de l'ordre de 30 par 30 cm et la température maximale du semis est aux alentours de 18°C.
- **Récolte** : elle se fait de Juin à Octobre, on récolte les tiges feuillées avant la floraison et on les laisse sécher de 24 à 48 heures avant de les distiller.
- **Parties utilisées** : feuilles et tiges (toute la partie aérienne).
- **Usages et propriétés thérapeutiques** : l'huile essentielle de la menthe verte possède une odeur particulièrement agréable qui rappelle notamment celle de certains chewing-gums à la chlorophylle. Son usage est apprécié en diffusion aérienne associée à d'autres huiles essentielles ou sous forme locale en cosmétologie.

L'infusion des feuilles de menthe verte possède des propriétés antiseptique, digestive, stimulante, tonique, elle favorise l'expulsion des gaz, décontracte les muscles, stimule la transpiration, stimule la sécrétion biliaire, etc...L'huile essentielle est notamment utilisée en parfumerie, phytothérapie, aromathérapie et cosmétologie.

- Le fenouil doux



Foeniculum vulgare MILL.
(Original)

- **Famille** : *Apiaceae*.
- **Noms latins** : *Foeniculum vulgare* MILL.
- **Noms communs** : Fenouil doux, Aneth doux, Anis doux.
- **Noms vernaculaires arabes** : El besbas, Raziyanaj, Chbets, Shamar et Naffa pour le fruit.
- **Noms berbères** : Wasma, Tamsawt, Tazenacht, Lemsous.
- **Historique** : le fenouil était déjà employé à Babylone vers 3000 ans avant J-C. connu également des Egyptiens, il était souvent cité par les Grecs qui le considéraient comme une papacée censée assurer jeunesse, force et santé. Les Arabes et les Chinois l'employaient également, et au XVI siècle, les Anglais en confectionnaient

une boisson très populaire, «le sack», qui était recommandé comme antidote aux piqûres de scorpions et aux morsures de serpents. Le nom générique est dû à la finesse des segments des feuilles rappelant le foin (latin : fenum).

- **Origine** : cette plante est originaire du Sud et du Sud-est de l'Europe, du bassin méditerranéen et de l'Asie orientale.
- **Description botanique** : c'est une plante herbacée annuelle, vivace ou bisannuelle, pouvant atteindre plus de 2.5 m de hauteur. La plante est glabre et assez haute, l'ensemble de la plante (dont le fruit) présente une forte odeur d'anis. La racine est longue et fuselée, présente une face extérieure gris jaunâtre, marquée par des stries transversales peu profondes. Les tiges sont fines et robustes, striées, rameuses, elles sont de couleur glauque (vert pâle bleuté). Les feuilles sont segmentées, divisées, découpées en lanières filiformes, très allongées. L'inflorescence est une grande ombelle fine de 15 à 30 rayons comprenant de petites fleurs de couleur jaune verdâtre. Le fruit est un diakène (deux akènes jumelés) de 4 à 7 mm de long sur 2 à 3 mm de large ; sa forme est oblongue, ovoïdes ou elliptique, droite ou parfois courbée, un peu arquée d'une couleur glauque, et dégageant une forte odeur aromatique anisée.
- **Répartition géographique** : son aire de répartition s'étend aujourd'hui dans presque toute l'Europe (sauf le nord), en Afrique du Nord, en Asie Mineure, dans les régions du Caucase, en Iran et en Asie Centrale. La plante est naturalisée notamment en Amérique du Nord, à l'est de l'Asie, en Malaisie, en Indonésie, en Nouvelle Zélande et en Afrique du Sud, elle est aussi spontanée dans l'ensemble des pays du bassin méditerranéen. En Algérie, il fait partie des paysages de l'été, dans la région Teliene, on trouve plusieurs espèces cultivée ou spontanée.
- **Biotope** : Au bord des fossés humides, haies et champs cultivés, dans les lieux secs et calcaires, auprès des maisons, en bordure des champs et des routes et au bord de la mer ; dans les terrains sableux, des friches ou des pelouses.
- **Type de multiplication** : on le multiplie par semis direct des graines.
- **Semis des graines** : le semis s'effectue sur place dès mars, avril jusqu'à la mi-mai sur rangées espacées d'environ 30 à 50 cm.
- **Récolte** : en Algérie la récolte des racines s'effectue, durant l'automne et l'hiver; celle des fruits s'effectue dès leur jaunissement (l'été).
- **Parties utilisées**: fruits et racines.
- **Usages et propriétés thérapeutiques** : ce sont les fruits qui ont un intérêt thérapeutique et qui font partie de médicaments spécialisés en pharmacie grâce à son huile essentielle. Le fenouil favorise la digestion en stimulant les contractions des muscles lisses de l'estomac et de l'intestin, il est aussi galactagogue. Les graines en décoction sont stimulantes, stomachiques, toniques, et carminatives; en infusion elles sont utilisées contre la toux et les crises d'asthme. En usage externe, les feuilles et les sommités fleuries sont appliquées comme cataplasme sur les engorgements des seins.

Annexe 3 : Les abréviations des noms des réactifs chimiques.

Réactif	Formule Chimique
Acétate de Sodium	CH ₃ CO ₂ Na
Acétate de Plomb	Pb (CH ₃ CO ₂) ₂
Acide Acétique	C ₂ H ₄ O ₂
Acide Chlorhydrique	HCl
Acide Sulfurique	H ₂ SO ₄
Alcool Isoamylique	C ₅ H ₁₂ O
Ammoniaque	NH ₃
Chloroforme (Trichlorométhane)	CHCl ₃
Chlorure de Fer	FeCl ₃
Ethanol	C ₂ H ₅ OH
Ether	(C ₂ H ₅) ₂ O
Hexane	C ₆ H ₁₄
Hydroxyde de Potassium	KOH
Hydroxyde de Sodium	NaOH
Iodure de Potassium	KI
Magnésium	Mg
Nitrate de Bismuth	Bi(OH) ₂ NO ₃
Propanol	C ₃ H ₇ OH
Zinc Métallique	Zn

Annexe 4 : Préparation des solutions pour le screening chimique.

- **Acide Chlorhydrique 1 N :**

Prélever 8.33 ml d'acide chlorhydrique et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

- **Acide Chlorhydrique 0.1 N :**

Prélever 0.833 ml d'acide chlorhydrique et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

- **Acide Chlorhydrique 2 N :**

Prélever 16.66 ml d'acide chlorhydrique et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

- **Acide Chlorhydrique à 10% :**

Prélever 10 ml d'acide chlorhydrique et compléter avec 100 ml d'eau distillée.

- **Acide Sulfurique 2N :**

Prélever 5,6 ml d'acide sulfurique et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

- **Ammoniaque ½ :**

Prélever 30 ml d'ammoniaque, puis rajouter 60 ml d'eau distillée.

- **Réactif de Drangendroff :**

-
- Solution a :dissoudre 0.85 g de nitrate de bismuth dans 40 ml d'eau distillée + 10 ml d'acide acétique.
 - Solution b : dissoudre 8 g d'iodure de potassium dans 20 ml d'eau distillé, puis mélanger la solution **a** avec la solution **b**.

Prendre 15 ml de ce mélange, et rajouter 20 ml d'acide acétique puis compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

- **Chlorure de Fer à 5% :**

Dissoudre 05g de chlorure de fer dans 100 ml d'eau distillée.

- **Ether/ chloroforme (3/1) :**

Mélanger 03 volumes d'éther avec 01 volume de chloroforme.

- **Hydroxyde de Potassium à 10% :**

Dissoudre 10 g d'hydroxyde de potassium dans 100 ml d'eau distillée.

- **Hydroxyde de Sodium à 0.1N :**

Dissoudre 04 g d'hydroxyde de sodium dans 100 ml d'eau distillée 0,1N (bien agiter dans l'agitateur).

- **Propanol/ Acide Chlorhydrique :**

Mélanger 01 volume de propanol avec 1 volume d'acide chlorhydrique.

- **Réactif de Stiansy :**

Mélanger 02 volumes de formol avec 1 volume d'acide chlorhydrique 1N.

Annexe 5 : Analyse de la variance de la mortalité de *M. incognita* (huiles essentielles de *F. vulgare* et de *M. spicata* - variable doses après 72 heures d'exposition et variable temps à la dose de 800 µl).

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

*Mortalité / *F. vulgare*. Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7	14505.236	2072.219	279.191	< 0.0001
Erreur	15	111.333	7.422		
Total corrigé	22	10294.000			

Test de Newman-Keuls (SNK) Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
D800 vs T	86.333	38.811	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs D50	38.333	15.413	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs D100	31.333	14.985	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs Moc	24.333	10.939	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs D200	18.667	8.392	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs Ném	18.333	7.343	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs D400	10.333	4.645	2.131	0.000	Oui
D400 vs T	76.000	34.166	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D50	28.000	11.259	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D100	23.000	10.340	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs Moc	14.000	6.294	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D200	8.333	3.746	2.131	0.005	Oui
D400 vs Ném	6.000	2.697	2.131	0.017	Oui
Ném vs T	70.000	31.469	2.131	< 0.0001	Oui
Ném vs D50	22.000	8.846	2.131	< 0.0001	Oui
Ném vs D100	17.000	7.642	2.131	< 0.0001	Oui
Ném vs Moc	8.000	3.596	2.131	0.007	Oui
Ném vs D200	2.333	1.049	2.131	0.0001	Oui
D200 vs T	67.667	30.420	2.131	< 0.0001	Oui
D200 vs D50	19.667	7.908	2.131	< 0.0001	Oui
D200 vs D100	14.667	6.593	2.131	< 0.0001	Oui
D200 vs Moc	5.667	2.547	2.131	0.022	Oui
Moc vs T	63.000	27.672	2.131	< 0.0001	Oui
Moc vs D50	14.000	5.629	2.131	0.000	Oui
Moc vs D100	9.000	4.046	2.131	0.001	Oui
D100 vs T	50.000	23.826	2.131	< 0.0001	Oui
D100 vs D50	5.000	2.010	2.131	0.045	Non
D50 vs T	48.000	19.300	2.131	< 0.0001	Oui

*Mortalité / *M. spicata*

Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des Carrés	Moyenne des Carrés	F	Pr > F
Modèle	7	18663.226	2666.475	140.387	< 0.0001
Erreur	15	284.499	18.967		
Total corrigé	22	18949.826			

Test de Newman-Keuls (SNK) Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
D800 vs T	79.000	22.217	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs D50	59.333	15.050	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs D100	56.667	15.936	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs D200	25.667	7.218	2.131	< 0.0001	Oui
D800 vs Moc	16.000	4.500	2.131	0.002	Oui
D800 vs D400	4.333	1.219	2.131	0.461	Non
D800 vs Ném	2.667	0.750			Non
Ném vs T	76.333	21.467	2.131	< 0.0001	Oui
Ném vs D50	37.167	14.379	2.131	< 0.0001	Oui
Ném vs D100	34.000	15.186	2.131	< 0.0001	Oui
Ném vs D200	23.000	6.468	2.882	< 0.0001	Oui
Ném vs Moc	13.333	3.750	2.131	0.005	Oui
Ném vs D400	1.667	0.469	2.131	0.646	Non
D400 vs T	74.667	20.998	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D50	55.500	13.960	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D100	52.333	14.717	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D200	21.333	5.999	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs Moc	11.667	3.281	2.131	0.005	Oui
Moc vs T	63.000	17.717	2.131	< 0.0001	Oui
Moc vs D50	45.833	11.076	2.131	< 0.0001	Oui
Ném vs Moc	13.333	3.750	2.131	0.005	Oui
Ném vs D400	1.667	0.469	2.131	0.646	Non
D400 vs T	74.667	20.998	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D50	55.500	13.960	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D100	52.333	14.717	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs D200	21.333	5.999	2.131	< 0.0001	Oui
D400 vs Moc	11.667	3.281	2.131	0.005	Oui
Moc vs T	63.000	17.717	2.131	< 0.0001	Oui
Moc vs D50	43.833	11.026	2.131	< 0.0001	Oui
Moc vs D100	40.667	11.436	2.131	< 0.0001	Oui
Moc vs D200	9.667	2.718	2.131	0.016	Oui
D200 vs T	53.333	14.999	2.131	< 0.0001	Oui
D200 vs D50	34.167	8.594	2.131	< 0.0001	Oui
D200 vs D100	31.000	8.718	2.131	< 0.0001	Oui
D100 vs T	22.333	6.261	2.131	< 0.0001	Oui
D100 vs D50	3.167	0.797	2.131	0.438	Non
D50 vs T	19.167	4.821	2.131	0.000	Oui

Annexe 6 : Analyse de la variance de la mortalité de *M. incognita* (Feuilles de *P. harmala* -variable doses après 72 heures d'exposition).

*Mortalité/ Extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala*.
Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	13222.471	3044.494	82.895	<0.0001
Erreur	11	404.000	36.727		
Total corrigé	16	13626.471			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
D100 vs T	88.333	17.852	2.201	<0.0001	Oui
D100 vs D25	44.000	7.953	2.201	<0.0001	Oui
D100 vs Moc	30.333	6.130	2.201	0.000	Oui
D100 vs Ném	20.000	4.042	2.201	0.005	Oui
D100 vs D50	6.667	1.347	2.201	0.205	Non
D50 vs T	81.667	16.504	2.201	<0.0001	Oui
D50 vs D25	37.333	6.748	2.201	0.000	Oui
D50 vs Moc	23.667	4.783	2.201	0.002	Oui
D50 vs Ném	13.333	2.695	2.201	0.021	Oui
Ném vs T	68.333	13.810	2.201	<0.0001	Oui
Ném vs D25	24.000	4.338	2.201	0.003	Oui
Ném vs Mo	10.333	2.088	2.201	0.002	Oui
Moc vs T	58.000	11.721	2.201	<0.0001	Oui
Moc vs D25	13.667	2.470	2.201	0.031	Oui
D25 vs T	44.333	8.014	2.201	<0.0001	Oui

*Mortalité/ Extrait hexanique de feuilles de *P. harmala*.
Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	8487.725	1697.545	83.610	<0.0001
Erreur	11	223.333	20.303		
Total corrigé	16	8711.059			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Ném vs T	62.667	17.033	2.201	<0.0001	Oui
Ném vs D25	29.333	7.131	2.201	0.000	Oui
Ném vs D50	15.667	3.171	2.201	0.038	Oui
Ném vs Moc	14.667	2.812	2.201	0.011	Oui
Ném vs D100	4.000	0.544	2.201	0.089	Non
D100 vs T	60.667	16.490	2.201	<0.0001	Oui
D100 vs D25	27.333	6.645	2.201	0.000	Oui
D100 vs D50	9.667	2.627	2.201	0.097	Non
D100 vs Moc	9.333	1.268			Non
Moc vs T	46.000	15.221	2.201	<0.0001	Oui
Moc vs D25	14.667	5.511	2.201	0.001	Oui
Moc vs D50	0.000	1.359	2.201	0.201	Non
D50 vs T	53.000	13.862	2.201	<0.0001	Oui
D50 vs D25	10.667	4.295	2.201	0.001	Oui
D25 vs T	33.333	8.104	2.201	<0.0001	Oui

*Mortalité/ Extrait aqueux de feuilles de *P. harmala*.
Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	11600.402	2320.080	53.410	<0.0001
Erreur	11	477.833	43.439		
Total corrigé	16	12078.235			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Ném vs T	73.000	13.565	2.201	<0.0001	Oui
Ném vs D25	46.500	7.729	2.201	<0.0001	Oui
Ném vs D50	19.333	3.593	2.201	0.019	Oui
Ném vs Moc	10.000	1.838	2.201	0.197	Non
Ném vs D100	5.667	1.053			Non
D100 vs T	66.333	1.512	2.201	<0.0001	Oui
D100 vs D25	40.833	6.787	2.201	0.000	Oui
D100 vs D50	13.667	2.540	2.201	0.066	Non
D100 vs Moc	4.333	0.805			Non
Moc vs T	63.000	11.707	2.201	<0.0001	Oui
Moc vs D25	36.500	6.067	2.201	0.000	Oui
Moc vs D50	9.333	1.734	2.201	0.111	Non
D50 vs T	53.667	9.973	2.201	<0.0001	Oui
D50 vs D25	27.167	4.515	2.201	0.001	Oui
D25 vs T	26.500	4.404	2.201	0.001	Oui

Annexe 7 : Analyse de la variance de la mortalité de *M. incognita* (Fruits de *P. harmala* - variable doses après 72 heures d'exposition).

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

*Mortalité/ Extrait éthanolique de fruits de *P. harmala*.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	20120.431	4024.086	677.525	< 0.0001
Erreur	11	65.333	5.939		
Total corrigé	16	20185.765			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
D50 vs T	94.333	29.417	2.201	< 0.0001	Oui
D50 vs Moc	45.000	22.615	2.201	< 0.0001	Oui
D50 vs D25	31.000	13.934	2.201	< 0.0001	Oui
D50 vs Ném	22.333	11.223	2.201	< 0.0001	Oui
D50 vs D100	0.000	0.000	2.201	1.000	Non
D100 vs T	94.333	49.417	2.201	< 0.0001	Oui
D100 vs Moc	45.000	22.615	2.201	< 0.0001	Oui
D100 vs D25	31.000	13.934	2.201	< 0.0001	Oui
D100 vs Ném	22.333	11.223	2.201	< 0.0001	Oui
Ném vs T	72.000	38.189	2.201	< 0.0001	Oui
Ném vs Moc	13.667	11.391	2.201	< 0.0001	Oui
Ném vs D25	8.667	3.896	2.201	0.003	Oui
D25 vs T	67.333	30.266	2.201	< 0.0001	Oui
D25 vs Moc	14.000	6.293	2.201	< 0.0001	Oui
Moc vs T	58.333	26.802	2.201	< 0.0001	Oui

*Mortalité/ Extrait hexanique de fruits de *P. harmala*.

Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	9134.235	1826.847	66.103	< 0.0001
Erreur	11	304.000	27.636		
Total corrigé	16	9438.235			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
D100 vs T	66.667	15.532	2.201	< 0.0001	Oui
D100 vs D25	17.000	4.659	2.201	0.005	Oui
D100 vs Moc	7.667	3.890	2.201	0.012	Non
D100 vs D50	6.333	1.631	2.201	0.274	Non
D100 vs Ném	0.000	0.621	2.201		Non
Ném vs T	64.000	14.910	2.201	< 0.0001	Oui
Ném vs D25	16.000	4.038	2.201	0.009	Oui
Ném vs Moc	9.333	3.334	2.201	0.017	Oui
Ném vs D50	6.333	1.010	2.201	0.334	Non
D50 vs T	54.667	13.901	2.201	< 0.0001	Oui
D50 vs D25	11.667	3.029	2.201	0.029	Oui
D50 vs Moc	1.000	2.431	2.201	0.033	Oui
D25 vs T	48.000	10.002	2.201	< 0.0001	Oui
D25 vs Moc	-8.333	0.278	2.201	0.786	Non
Moc vs T	48.667	10.872	2.201	< 0.0001	Oui

*Mortalité/ Extrait aqueux de fruits de *P. harmala*.

Analyse de la variance (dose)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	9094.716	1818.943	70.639	< 0.0001
Erreur	11	283.167	25.742		
Total corrigé	16	9377.882			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Ném vs T	76.000	23.585	2.201	< 0.0001	Oui
Ném vs D25	47.667	13.231	2.201	< 0.0001	Oui
Ném vs Moc	22.667	7.034	2.201	0.000	Oui
Ném vs D50	18.667	5.793	2.201	0.000	Oui
Ném vs D100	11.667	3.620	2.201	0.004	Oui
D100 vs T	64.333	19.964	2.201	< 0.0001	Oui
D100 vs D25	36.000	9.992	2.201	< 0.0001	Oui
D100 vs D50	7.000	3.414	2.201	0.015	Non
D100 vs Moc	-0.005	2.172	2.201		Non
D50 vs T	57.333	17.792	2.201	< 0.0001	Oui
D50 vs D25	27.000	8.049	2.201	< 0.0001	Oui
D50 vs Moc	4.000	1.241	2.201	0.240	Non
Moc vs T	63.333	16.551	2.201	< 0.0001	Oui
Moc vs D25	32.000	6.939	2.201	< 0.0001	Oui
D25 vs T	28.333	7.864	2.201	< 0.0001	Oui

Annexe 8 : Analyse de la variance de l'éclosion de *M. incognita* (*F. vulgare* et *M. spicata* - variable doses (après 72 heures d'exposition).

*Ecllosion / F. vulgare.

Analyse de la variance (doses)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7	209358.075	29908.296	81.410	< 0.0001
Erreur	23	8449.667	367.377		
Total corrigé	30	217807.742			

Test de Newman-Keuls (SNK)/Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs D800	219.250	21.331	2.956	< 0.0001	Oui
T vs D400	246.500	19.272	2.956	< 0.0001	Oui
T vs Ném	241.750	19.116	2.956	< 0.0001	Oui
T vs D200	208.250	14.137	2.956	< 0.0001	Oui
T vs Moc	199.500	13.429	2.956	< 0.0001	Oui
T vs D100	183.750	12.447	2.956	< 0.0001	Oui
T vs D50	141.250	9.980	2.956	< 0.0001	Oui
D50 vs D800	138.000	9.769	2.956	< 0.0001	Oui
D50 vs D400	105.250	8.141	2.956	< 0.0001	Oui
D50 vs Ném	100.500	7.718	2.956	< 0.0001	Oui
D50 vs D200	67.000	3.108	2.956	0.024	Oui
D50 vs Moc	49.250	2.453	2.956	0.026	Oui
D50 vs D100	42.500	1.544	2.956	0.029	Oui
Moc vs D800	88.750	8.884	2.956	< 0.0001	Oui
Moc vs D400	56.000	7.126	2.956	< 0.0001	Oui
Moc vs Ném	51.250	6.669	2.956	< 0.0001	Oui
Moc vs D200	17.750	1.690	2.956	0.230	Non
Moc vs D100	6.750	0.982	2.956	<	Non
D100 vs D800	95.500	7.902	2.956	< 0.0001	Oui
D100 vs D400	62.750	6.144	2.956	< 0.0001	Oui
D100 vs Ném	58.000	5.687	2.956	< 0.0001	Oui
D100 vs D200	24.500	0.708	2.956	0.486	Non
D200 vs D800	71.000	7.194	2.956	< 0.0001	Oui
D200 vs D400	38.250	3.616	2.956	< 0.0001	Oui
D200 vs Ném	33.500	4.979	2.956	< 0.0001	Oui
Ném vs D800	37.500	2.215	2.956	0.090	Non
Ném vs D400	4.750	0.457	2.956	<	Non
D400 vs D800	32.750	1.259	2.956	<	Non

*Ecllosion / M. spicata.

Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7	151432.108	21633.158	51.622	< 0.0001
Erreur	23	9638.667	419.072		
Total corrigé	30	161070.774			

Test de Newman-Keuls (SNK)/Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs Ném	222.500	9.973	2.956	0.0001	Oui
T vs D800	214.250	5.650	2.956	0.000	Oui
T vs Moc	199.500	5.650	2.956	0.000	Oui
T vs D400	164.750	3.227	2.956	0.028	Oui
T vs D200	140.750	2.788	2.956	0.048	Oui
T vs D100	127.250	2.233	2.956	0.050	Oui
D400 vs Moc	34.750	4.397	2.956	0.003	Oui
D400 vs D800	49.500	4.397	2.956	0.002	Oui
D400 vs D200	-24.000	2.085	2.956	0.008	Oui
D400 vs D100	-37.500	1.555	2.956	0.009	Oui
D400 vs 50	-80.500	1.233	2.956	0.012	Oui
Moc vs Ném	23.000	7.507	2.956	0.0001	Oui
Moc vs D800	14.750	3.164	2.956	0.032	Oui
Moc vs D200	-58.750	3.164	2.956	0.021	Oui
Moc vs D100	-72.250	0.943	2.956	0.019	Oui
Moc vs D50	-115.250	0.322	2.956	0.002	Oui
D800 vs Ném	8.250	7.185	2.956	1.0001	Non
D800 vs D200	-73.000	2.842	2.956	0.043	Oui
D800 vs D100	-87.500	2.842	2.956	0.024	Oui
D400 vs 50	-80.500	1.233	2.956	0.012	Oui
Moc vs Ném	23.000	7.507	2.956	0.0001	Oui
Moc vs D800	14.750	3.164	2.956	0.032	Oui
Moc vs D200	-58.750	3.164	2.956	0.021	Oui
Moc vs D100	-72.250	0.943	2.956	0.019	Oui
Moc vs D50	-115.250	0.322	2.956	0.002	Oui
D800 vs Ném	8.250	7.185	2.956	1.0001	Non
D800 vs D200	-73.000	2.842	2.956	0.043	Oui
D800 vs D100	-87.500	2.842	2.956	0.024	Oui
D800 vs D50	-130.000	2.645	2.956	0.025	Oui
D50 vs Ném	138.250	6.007	2.956	0.0001	Oui
D50 vs D200	43.000	1.986	2.956	0.038	Oui
D50 vs D100	56.500	1.986	2.956	0.041	Oui
D200 vs Ném	81.750	4.343	2.956	0.001	Oui
D200 vs D100	-13.500	0.000	2.956	0.005	Oui
D100 vs Ném	95.250	4.343	2.956	0.000	Oui

Annexe 9 : Analyse de la variance de l'écllosion de *M. incognita* (Feuilles de *P. harmala* - variable doses).

Contribution à l'Etude de l'Activité Nématocide de Quelques Extraits de Plantes Contre Meloidogyne incognita (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (Nematoda : Meloidogynidae)

*Ecllosion/ Extrait éthanolique de feuilles de *P. harmala*.

Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des Carrés	F	Pr > F
Modèle	5	103973.801	20794.760	78.743	0.0001
Erreur	17	4489.417	264.083		
Total corrigé	22	108463.217			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs Ném	189.750	5.904	2.110	0.000	Oui
T vs D100	189.750	5.293	2.110	0.001	Oui
T vs Méc	174.000	4.845	2.110	0.001	Oui
T vs D50	168.000	4.209	2.110	0.002	Oui
T vs D25	145.750	4.397	2.110	0.000	Oui
D50 vs Ném	21.750	1.506	2.110	0.572	Non
D50 vs D100	17.500	0.896	2.110	0.807	Non
D50 vs Méc	5.500	0.448			Non
D50 vs D25	-22.250	0.138			Non
D25 vs D100	44.500	1.256	2.110	0.001	Oui
D25 vs Ném	39.250	0.691	2.110	0.972	Oui
D25 vs Méc	28.250	0.276	2.110	0.986	Oui
Méc vs D100	15.750	1.059	2.110	0.552	Non
Méc vs Ném	11.000	0.448			Non
Ném vs D100	-4.750	0.611			Non

*Ecllosion/ Extrait hexanique de feuilles de *P. harmala*.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	93046.486	19609.297	76.054	<0.0001
Erreur	17	4383.167	257.833		
Total corrigé	22	102429.652			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs Ném	198.750	17.505	2.110	<0.0001	Oui
T vs Méc	158.000	13.916	2.110	<0.0001	Oui
T vs D100	141.250	12.446	2.110	<0.0001	Oui
T vs D50	108.250	9.778	2.110	<0.0001	Oui
T vs D25	72.000	5.497	2.110	<0.0001	Oui
D25 vs Ném	126.750	10.709	2.110	<0.0001	Oui
D25 vs Méc	86.000	7.386	2.110	<0.0001	Oui
D25 vs D100	69.250	6.020	2.110	<0.0001	Oui
D25 vs D50	36.750	3.270	2.110	0.004	Oui
D50 vs Ném	90.000	7.927	2.110	<0.0001	Oui
D50 vs Méc	49.250	4.338	2.110	0.001	Oui
D50 vs D100	32.500	2.862	2.110	0.011	Oui
D100 vs Ném	57.500	5.064	2.110	0.0001	Oui
D100 vs Méc	16.750	1.475	2.110	0.158	Non
Méc vs Ném	41.750	3.589	2.110	0.002	Oui

*Ecllosion/ Extrait aqueux de feuilles de *P. harmala*.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	151256.326	30251.263	181.113	0.001
Erreur	17	2839.500	167.029		
Total corrigé	22	154095.826			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs Ném	219.000	5.159	2.110	0.001	Oui
T vs D100	209.500	4.215	2.110	0.005	Oui
T vs D50	192.750	2.949	2.110	0.041	Oui
T vs Méc	185.750	2.907	2.110	0.025	Oui
T vs D25	170.750	2.362	2.110	0.030	Oui
Méc vs Ném	33.250	2.798	2.110	0.180	Non
Méc vs D100	23.750	1.853			Non
Méc vs D50	12.750	0.762			Non
Méc vs D25	7.000	0.545			Non
Ném vs D100	-9.500	2.253			Non
T vs Ném	219.000	5.159	2.110	0.001	Oui
T vs D100	209.500	4.215	2.110	0.005	Oui
T vs D50	192.750	2.949	2.110	0.041	Oui
T vs Méc	185.750	2.907	2.110	0.025	Oui
T vs D25	170.750	2.362	2.110	0.030	Oui
Méc vs Ném	33.250	2.798	2.110	0.180	Non
Méc vs D100	23.750	1.853			Non
Méc vs D50	12.750	0.762			Non
Méc vs D25	7.000	0.545			Non
Ném vs D100	-9.500	2.253			Non
Ném vs D50	-26.250	1.308			Non
Ném vs D25	-48.250	0.258	2.110	0.006	Oui
D25 vs D100	38.750	1.828	2.110	0.191	Non
D25 vs D50	23.000	0.853			Non
D50 vs D100	16.750	0.945			Non

Annexe 10 : Analyse de la variance de l'écllosion de *M. incognita* (Fruits de *P. harmala* - variable doses).

*Ecllosion/ Extrait éthanologique de fruits de *P. harmala*.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	92295.638	18459.128	56.000	<0.0001
Erreur	17	5603.667	329.627		
Total corrigé	22	97899.304			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs D100	183.000	9.394	2.110	<0.0001	Oui
T vs D50	175.000	8.503	2.110	<0.0001	Oui
T vs Ném	159.500	8.459	2.110	<0.0001	Oui
T vs D25	150.500	7.447	2.110	<0.0001	Oui
T vs Mec	148.250	7.301	2.110	<0.0001	Oui
Mec vs Ném	9.000	2.092	2.110	0.268	Non
Mec vs D100	23.500	1.202	2.110	0.054	Oui
Mec vs D50	24.500	1.158	2.110	0.493	Non
Mec vs D25	-2.250	0.687			Non
D25 vs D100	34.750	1.250	2.110	0.005	Oui
D25 vs D50	28.750	0.426	2.110	0.905	Non
D25 vs Ném	11.250	0.385			Non
Ném vs D100	23.500	0.935			Non
Ném vs D50	15.500	0.945			Non
D50 vs D100	28.750	0.890			Non

*Ecllosion/ Extrait hexanique de fruits de *P. harmala*.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	37020.812	7404.162	72.478	<0.0001
Erreur	17	1736.667	102.157		
Total corrigé	22	38757.478			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs Ném	205.250	71.48	2.110	0.0001	Oui
T vs Mec	181.250	57.82	2.110	0.0001	Oui
T vs D100	168.500	5.646	2.110	0.0001	Oui
T vs D50	130.500	5.008	2.110	0.0001	Oui
T vs D25	101.500	2.922	2.110	0.010	Oui
D25 vs Ném	103.750	3.695	2.110	0.013	Oui
D25 vs Mec	79.750	2.431	2.110	0.001	Oui
D25 vs D100	67.000	2.304	2.110	0.004	Oui
D25 vs D50	29.000	1.714	2.110	0.076	Non
D100 vs Ném	36.750	2.140	2.110	0.007	Oui
D100 vs D50	12.500	0.774	2.110	0.006	Oui
D100 vs Mec	-38.000	0.637	2.110	0.064	Non
Mec vs Ném	24.000	1.502			Non
Mec vs D50	-50.750	0.137	2.110	0.001	Oui
D50 vs Ném	74.750	1.366	2.110	0.009	Oui

*Ecllosion/ Extrait aqueux de fruits de *P. harmala*.

Analyse de la variance (doses) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	138339.207	27707.841	146.750	<0.0001
Erreur	17	3209.750	188.809		
Total corrigé	22	141748.957			

Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (doses) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T vs D100	221.000	22.746	2.110	<0.0001	Oui
T vs Ném	216.500	22.282	2.110	<0.0001	Oui
T vs D50	199.750	20.558	2.110	<0.0001	Oui
T vs Mec	184.000	18.997	2.110	<0.0001	Oui
T vs D25	172.750	16.552	2.110	<0.0001	Oui
D25 vs D100	48.250	4.526	2.110	0.002	Oui
D25 vs Ném	43.750	4.097	2.110	0.004	Oui
D25 vs D50	27.000	2.501	2.110	0.057	Non
D25 vs Mec	11.250	1.001			Non
Mec vs D100	37.000	3.808	2.110	0.007	Oui
Mec vs Ném	32.500	3.345	2.110	0.010	Oui
Mec vs D50	-15.250	-1.623	2.110	0.123	Non
T vs Ném	216.500	22.282	2.110	<0.0001	Oui
T vs D50	199.750	20.558	2.110	<0.0001	Oui
T vs Mec	184.000	18.997	2.110	<0.0001	Oui
T vs D25	172.750	16.552	2.110	<0.0001	Oui
D25 vs D100	48.250	4.526	2.110	0.002	Oui
D25 vs Ném	43.750	4.097	2.110	0.004	Oui
D25 vs D50	27.000	2.501	2.110	0.057	Non
D25 vs Mec	11.250	1.001			Non
Mec vs D100	37.000	3.808	2.110	0.007	Oui
Mec vs Ném	32.500	3.345	2.110	0.010	Oui
Mec vs D50	15.750	1.621	2.110	0.123	Non
D50 vs D100	21.250	2.187			Non
D50 vs Ném	16.750	1.724			Non
Ném vs D100	4.500	0.463			Non