

Effets de l'alimentation en *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) sur le tube digestif du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae).

Effects of *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) feeding on the digestive track of the migratory locust *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae)

L. M. IDRISSE HASSANI & J. HERMAS

Laboratoire de Biotechnologies, Equipe PlantaSud, Faculté des Sciences Agadir, Université IBN ZOHR

La correspondance doit être envoyée à Madame L.M. Idrissi-Hassani, B.P. 3028 Talborjt 80000 Agadir, Maroc.

Recibido el 17 de diciembre de 2007. Aceptado el 26 de diciembre de 2008.

ISSN: 1130-4251 (2008), vol. 19, 71-84

Mots clés: *Schistocerca gregaria*; *Peganum harmala*; muqueuse intestinale; toxicité.

Key words: *Schistocerca gregaria*; *Peganum harmala*; intestinal epithelium, toxicity.

RESUME

Les effets toxiques de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) sur le tube digestif du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* ont été testés. L'étude histologique pratiquée au niveau de l'intestin moyen montre que ce dernier présente 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 mésentéral présente un aspect granuleux, une bordure en brosse altérée et des signes typiques de nécrose cellulaire.

ABSTRACT

Toxic effects of *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) on the digestive track of the desert locust *Schistocerca gregaria* were tested. The histological study was performed in the medium intestine. This later presents a reduction of the external circular muscle resulting in a relaxation of the intestine and atrophy of the intestinal mucosa which showed a reduction of striated epithelium. However the mesenteric epithelium showed a grainy appearance, an altered edge of the microvillousities and some typical signs of cell necrosis.

INTRODUCTION

Peganum harmala L. (*Zygophyllaceae*) connue localement sous le nom de harmel est une plante communément rencontrée au Maroc. Elle occupe les stations des coteaux arides, champs incultes secs, décombres et steppes terreuses (Jahandiez et Maire, 1932). En médecine traditionnelle, ses graines sont depuis longtemps utilisées comme narcotiques, antihelminthiques, antispasmodiques et dans certains cas contre les rhumatismes et l'asthme (Siddiqui *et al.*, 1988; Bellakhdar, 1997). Cette utilisation des graines est due à la richesse de celles-ci en alcaloïdes de type β -carboline dont les plus importants sont l'harmine, l'harmaline, l'harmol et l'harmalol comme cela a été déjà signalé pour la première fois par Goebel, 1841 (Merck Index, 1989) et repris par de nombreux auteurs. Son intérêt pharmacologique n'est plus à démontrer: elle présente une activité antivirale (Rashan et Adaay, 1989), abortive chez le rat (Shapira *et al.*, 1989; Nath *et al.*, 1993; Adaay 1994) et présente une toxicité même envers l'homme (Ben Salah *et al.*, 1986).

Dans le cadre de notre recherche de produits naturels utilisables comme insecticides, *Peganum harmala* L. s'est avéré très efficace. Son potentiel acaricide a été évalué par des tests d'alimentation du criquet pèlerin sur la plante fraîche. Les résultats sont encourageants dans la mesure où l'alimentation en *P. harmala* provoque une mortalité aux stades larvaires d'un taux de 45% et un blocage du développement ovarien chez les femelles (Idrissi Hassani *et al.*, 1998; Idrissi Hassani, 2000). L'effet des extraits des feuilles de cette même plante sur des femelles de criquets pèlerins entraîne une diminution de prise de nourriture, une réduction de la motricité et des perturbations de la fonction de reproduction (Abbassi *et al.*, 2003a), des résultats similaires ont été obtenus chez des jeunes adultes de criquets pèlerins mâles et femelles après addition des extraits alcaloïdes de *Peganum harmala* à leur alimentation (Abbassi *et al.*, 2003b).

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux effets de l'alimentation en *Peganum harmala* sur le tube digestif des larves du 4^{ème} stade du criquet pèlerin car l'insecte consomme cette plante bien qu'elle lui soit toxique. En effet si les tanins et autres substances réduisant la digestibilité représentent une barrière difficilement contournable, il n'en est pas de même pour certaines micromolécules toxiques telles les alcaloïdes (Lebreton, 1982).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La plante fraîche, *Peganum harmala* est collectée dans la région d'Agadir, piémont sud du Haut Atlas (Maroc).

Les criquets utilisés dans ces expériences proviennent d'un élevage en masse de criquets pèlerins grégaire entretenu au Centre National de lutte antiacridienne d'Agadir.

Pour assurer une synchronisation de la mue, des individus du 3^{ème} stade ont été prélevés de l'élevage de masse et gardés dans une cage séparément jusqu'à leur passage au 4^{ème} stade.

Ils sont pesés puis introduits dans des cages en verre munies d'un couvercle grillagé.

Ces cages sont éclairées pendant 12 heures de l'extérieur. La température et l'humidité relative sont contrôlées, respectivement $32 \pm 2^\circ\text{C}$ et 50%. Les insectes sont nourris avec des parties aériennes fraîches de *Peganum harmala* présentées en bouquets dans des piluliers pleins d'eau pour maintenir les plantes à l'état de turgescence. Les individus témoins sont nourris avec du blé et du chou. La nourriture est renouvelée quotidiennement.

Après 14 jours d'expérience, les individus sont sacrifiés après pesée et disséqués sous la loupe binoculaire dans le liquide de Ringer, l'intestin est nettoyé de ses adhérences et sectionné à ses deux extrémités puis immergé dans le fixateur.

Techniques histologiques

L'étude histologique a été réalisée avec les techniques décrites par Martoja et Martoja-Pierson (1967). Après fixation dans le liquide de Bouin, les pièces sont déshydratées et incluses dans de la paraffine. Les coupes transversales de 7 μm sont effectuées au microtome et échelonnées le long de l'intestin moyen. La coloration topographique utilisée est l'hémalum picro-indigocarmin (Nezelof *et al.*, 1972). Le montage sous lamelle a été effectué à l'aide de l'Euparal. L'observation se fait au microscope optique muni d'un objectif micrométrique et d'un dispositif de prise de photos.

Les observations ont porté essentiellement sur l'intestin moyen (mésentéron) car c'est la région spécifiquement digestive et absorbante (Grassé, 1976; Duranton *et al.*, 1982).

Traitements statistiques

Les résultats obtenus sont comparés par ANOVA (fixed effects analyse of variance).

RÉSULTATS

L'alimentation avec *P. harmala* des larves du 4^{ème} stade provoque très vite une mortalité importante au sein des individus [ce qui a constitué une contrainte pour le suivi de l'expérience] (Fig. 1), le nombre d'individus traités décroissant avec le temps. Les survivants présentent un poids corporel faible (poids vifs moyens final des individus après 14 jours d'expérience: Témoins = $1,73 \pm 0,33$ g; Traités: $0,62 \pm 0,29$ g; $p < 0.001$) et différences dans la présence de corps gras (présent chez témoins, absent chez traités). En ce qui concerne les mues, l'alimentation avec *P. harmala* entraîne un retard du développement : le passage du 4^{ème} au 5^{ème} stade s'est effectué chez 50 % des témoins au 6^{ème} jour pour atteindre 100% au 8^{ème} jour tandis que les traités se sont maintenus à 20% au 5^{ème} stade depuis le 6^{ème} jour de l'expérience jusqu'à la fin de la durée expérimentale où 50 % des témoins ont atteint le stade adulte (mue imaginale).

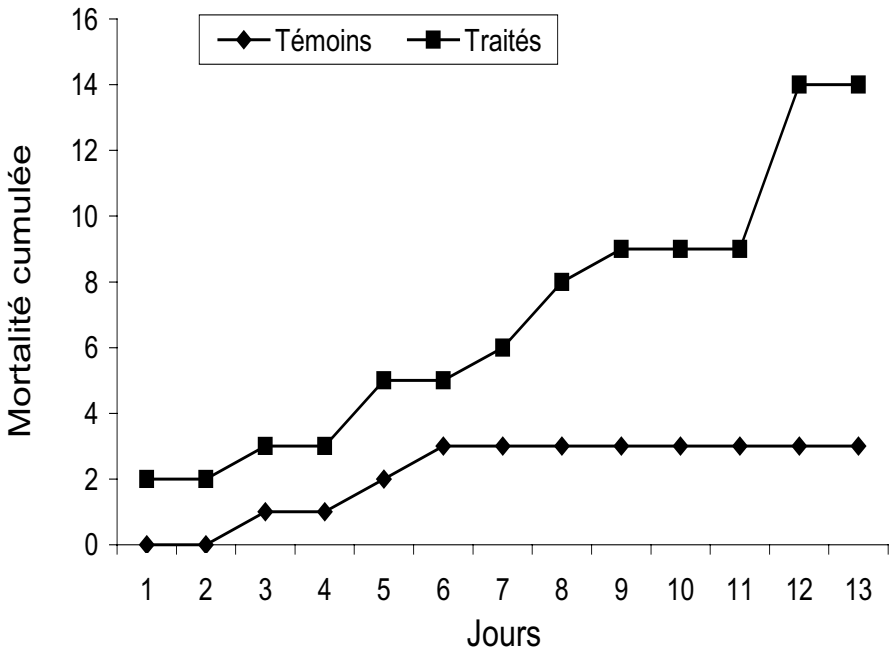


Figure 1.—Mortalité cumulée chez les jeunes du 4^{ème} stade de *Schistocerca gregaria* nourris avec *Peganum harmala* (n = 20) en comparaison avec des témoins nourris avec du blé (n = 20).

Figure 1.—Cumulative mortality among youth in the 4th stage of *Schistocerca gregaria* fed with *Peganum harmala* (n = 20) in comparison with controls fed with wheat (n = 20).

Etude histologique

Chez le criquet pèlerin, la région du mésentéron est pourvue de six caeca gastriques disposés radialement autour de la lumière centrale du tube digestif. La paroi du mésentéron est faite d'un épithélium à cellules sécrétrices et absorbantes, isolé du bol alimentaire par une membrane péritrophique, protectrice et filtrante.

L'épithélium est constitué de cellules fréquemment cylindriques à noyaux généralement situés au milieu ou dans la partie distale des cellules. Le cytoplasme est homogène et finement granuleux. L'assise est souvent plissée, les cellules basales sont régulièrement réparties et distribuées le long du mésentéron ou se regroupent en nids (Planches 1 et 2).

Les cellules épithéliales du mésentéron portent à leur face apicale une bordure en brosse très régulière. Des cryptes de régénération sont fréquemment localisées à la base des replis de l'épithélium.

Lors de la dissection des survivants, nous avons remarqué chez les individus traités une absence du corps gras. Leur intestin est flasque et de couleur noire par rapport aux témoins, le pigment du tube digestif est normalement une mélanine (Chauvin, 1938) mais chez les traités, il s'agit d'une mélanisation très poussée.

Chez les individus traités comme chez les témoins, les coupes présentent un bol alimentaire riche et nous avons constaté que la membrane péritrophique était souvent présente. Nous avons également remarqué une différence de coloration des coupes entre les témoins et les traités bien que nous ayons pris la précaution de bien alterner les lames histologiques lors des bains de coloration.

En ce qui concerne l'aspect de l'intestin, celui-ci présente un diamètre supérieur à celui des témoins résultant probablement d'un relâchement des assises musculaires, en effet l'observation de l'assise musculaire circulaire montre une atrophie et une distension de celle-ci (Planches 3 et 4)

L'examen de l'épithélium mésentéral des individus traités montre qu'il présente une hauteur réduite par rapport aux témoins (Fig. 2). Son aspect est granuleux, sa bordure est irrégulière. Il présente un espace intercellulaire anormalement important. Les cellules épithéliales sont fortement vacuolisées et leur bordure en brosse dégradée (Planches 4 et 5).

Les noyaux de ces cellules s'hypertrophient. La chromatine est désorganisée et se condense en granules très visibles dans le nucléoplasme. Ces symptômes sont typiques des dégénérescences cellulaires.

La présence de grégaires protozoaires est constatée surtout vers l'épithélium intestinal où quelquefois la pointe de ces organismes y pénètre. En ce qui nous concerne, nous les avons fréquemment observées pénétrant

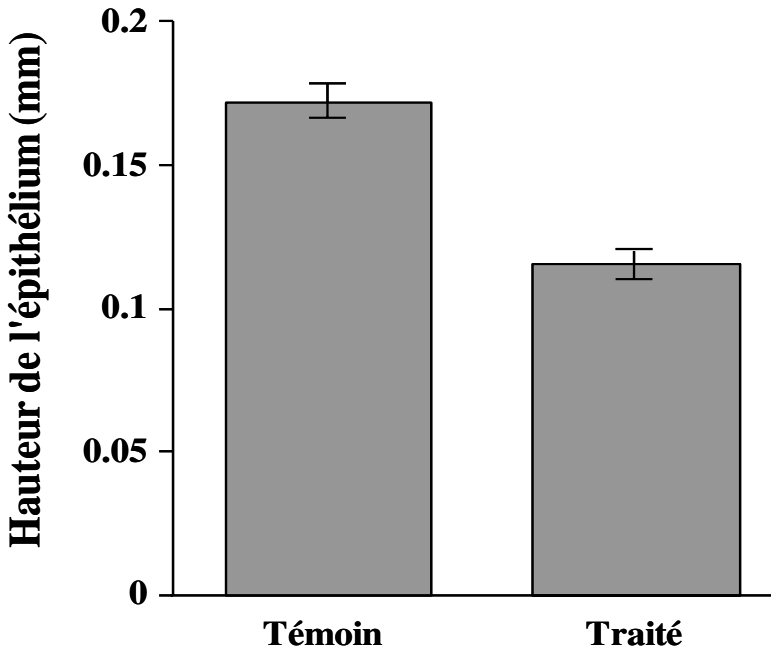


Figure 2.—Hauteur de l'épithélium du tube digestif chez les témoins alimentés avec du blé germé et chez les traités alimentés avec *Peganum harmala* ($P < 0.01$)

Figure 2.—Height of the epithelium of the digestive tract in control individuals fed with germinated wheat and in treated individuals fed with *Peganum harmala* ($P < 0.01$).

l'épithélium intestinal (Planche 2). Nous les avons peu observées au milieu de la lumière intestinale, il semble toutefois que ces organismes sont plus nombreux chez les individus témoins (Planche 6) que chez les individus nourris avec *P. harmala*.

Nous avons également fréquemment observé des ulcérations chez les individus traités consistant en une rupture de l'épithélium (Planches 7 et 8).

DISCUSSION

Les observations histologiques au niveau du tube digestif montrent que *P. harmala* a des effets toxiques certains sur les cellules épithéliales du mésentéron de *S. gregaria*. Nos observations du tube digestif sur les témoins concordent avec la littérature (Chauvin, 1938; Grassé, 1976). L'étude

histologique pratiquée au niveau de l'intestin moyen montre que ce dernier présente 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 chez les individus traités. L'épithélium mésentéral chez les individus traités présente un aspect granuleux, une bordure en brosse altérée et des signes typiques de nécrose cellulaire. Ces effets de l'alimentation en *P. harmala* sur le tube digestif du criquet pèlerin sont comparables à celles exercées par *Azadirachta indica* sur le tube digestif de *Spodoptera littoralis*, *Plutella xylostella* (Adote, 1994), *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria* (Nasiruddin et Mordue, 1993; Adote, 1994). La différence de hauteur épithéliale et de coloration de coupes de mésentéron que nous avons observé entre les individus témoins et les individus traités a également été rapportée pour *Trialeurodes vaporariorum* (mouche des serres) nourrie sur *Ageratum houstonianum* (Asteracées). L'auteur attribue cette différence de hauteur épithéliale aux métabolites secondaires produits par cette dernière plante (Triseleva, 1996). Chez les femelles de *Labidura riparia* injectée par l'azadirachtine, ces effets sont observés sur d'autres tissus comme l'épithélium folliculaire (Sayah *et al.*, 1996, Sayah 1999), le corps gras (Sayah *et al.*, 1996) et sur le corps allate (Sayah *et al.*, 1998). La même cytotoxicité est observée sur différents tissus des larves d'*Epilachna varivestis* (Schlüter et Schulz, 1984).

Les individus nourris avec *P. harmala* montrent un nombre mineur de grégarines. Ces grégarines ont été signalées comme ayant probablement un rôle symbiotique et n'affectant pas la survie des acridiens (Duranton *et al.*, 1982) mais Dadd (1960) les considère comme parasites. Ceci pose la question de savoir si des ulcérations observés chez les individus traités, consistant en une rupture de l'épithélium, sont dues à des nécroses causées par la toxicité de la plante ou si ce sont les cavités laissées par les grégarines disparues.

Les activités de l'épithélium du mésentéron répondent aux fonctions suivantes: la sécrétion, l'absorption, l'excrétion (Grassé, 1976) or chez les individus nourris par *P. harmala*, on peut supposer qu'il y a soit un effet direct sur les cellules épithéliales et donc inhibition de l'absorption et de l'assimilation ou bien un effet indirect : absorption des métabolites mais pas d'assimilation. Dans tous les cas, compte tenu de l'état de l'épithélium observé, il semble peu probable qu'il pourra remplir ses fonctions normalement en termes d'efficacité digestive. Si ces expériences ne permettent pas d'évaluer l'absorption intestinale, l'absence d'assimilation est presque certaine car elle se répercute sur toutes les parties sensibles de l'animal: épithélium intestinal réduit, ovocytes immatures, corps gras très réduits. Des résultats antérieurs ont montré que le *P. harmala* est consommé (co-

efficace d'utilisation digestive élevée par rapport à une plante témoin) mais que l'efficacité de conversion corporelle était faible (Idrissi Hassani *et al.*, 1998).

Ce déficit de conversion en substance corporelle chez les individus nourris par *P. harmala* (par rapport au témoin) est à rechercher dans sa teneur en substances secondaires, ce qui est cité par plusieurs auteurs comme facteur limitant le métabolisme des protéines chez les insectes (Ben Halima *et al.*, 1984; Simpson, 1982) et serait probablement la cause de l'atrophie musculaire. On peut également envisager une action sur le système nerveux et expliquer la distension de l'intestin par un manque de tonus nerveux; en effet les alcaloïdes de *P. harmala* sont des alcaloïdes indoliques (β carbolines) connus pour agir sur le système nerveux central (Bruneton, 1987) en particulier l'harmaline, l'harmine et l'harmalol qui en sont les composés majeurs.

Le processus de toxicité est surtout important par ingestion de la plante, la toxicité est surtout intestinale, il semble que les substances actives de la plante mises en solution lors des processus digestifs attaquent les cellules absorbantes intestinales qui ne peuvent plus remplir leur rôle d'où carence protéique et lipidique et mort de l'insecte.

Ceci n'est pas en contradiction avec les résultats trouvés par d'autres auteurs en ce qui concerne les effets de *P. harmala* sur le rat et la souris et sur le criquet pèlerin (Adday 1994; Nath *et al.*, 1993; Shapira *et al.*, 1989; Abassi *et al.*, 2003a et 2003b).

Des expériences similaires sont actuellement menées chez l'adulte pour comparaison.

On peut supposer donc que la toxicité de *P. harmala* n'est pas perçue par l'insecte lors de l'alimentation mais qu'au niveau métabolique, la plante n'est pas assimilée (Idrissi Hassani *et al.*, 1998). Ce déficit d'assimilation peut être dû à une lésion de la muqueuse intestinale entre autres facteurs.

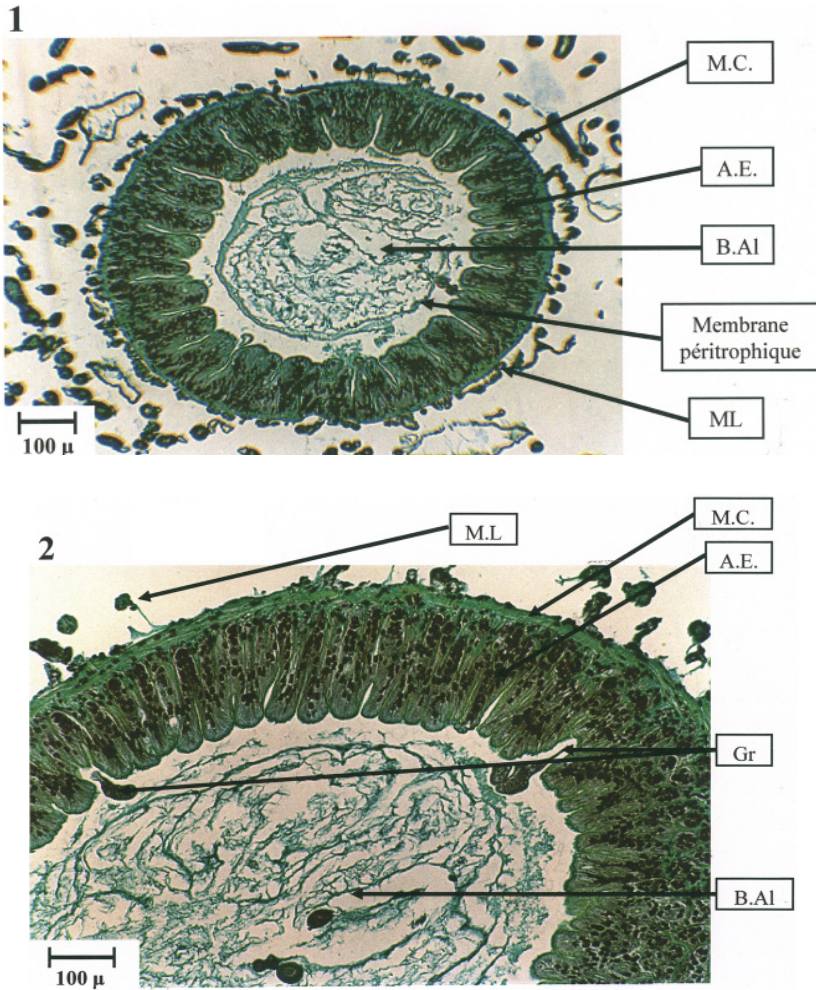
REMERCIEMENTS

Les auteures expriment leur gratitude au Dr S. Ghaout, chef du Centre National de Lutte Anticridienne d'Ait Melloul, Agadir Maroc, au Dr. A. Bouaichi, responsable de recherche et au Dr J. Chihrane, chercheur, pour avoir mis à leur disposition l'élevage de criquets et les facilités de recherche.

BIBLIOGRAPHIE

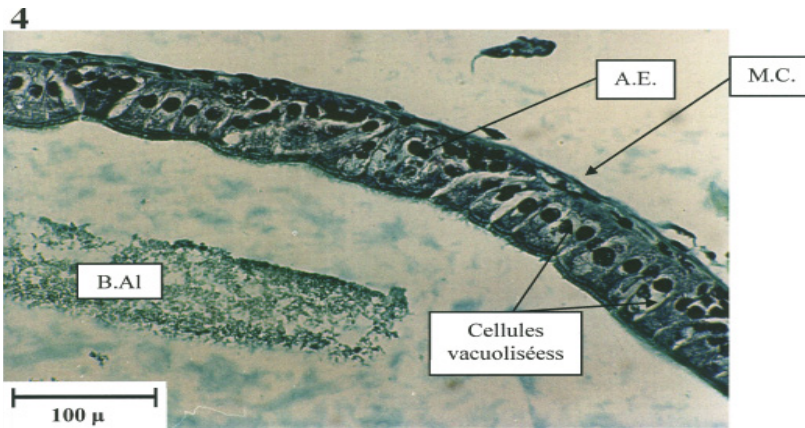
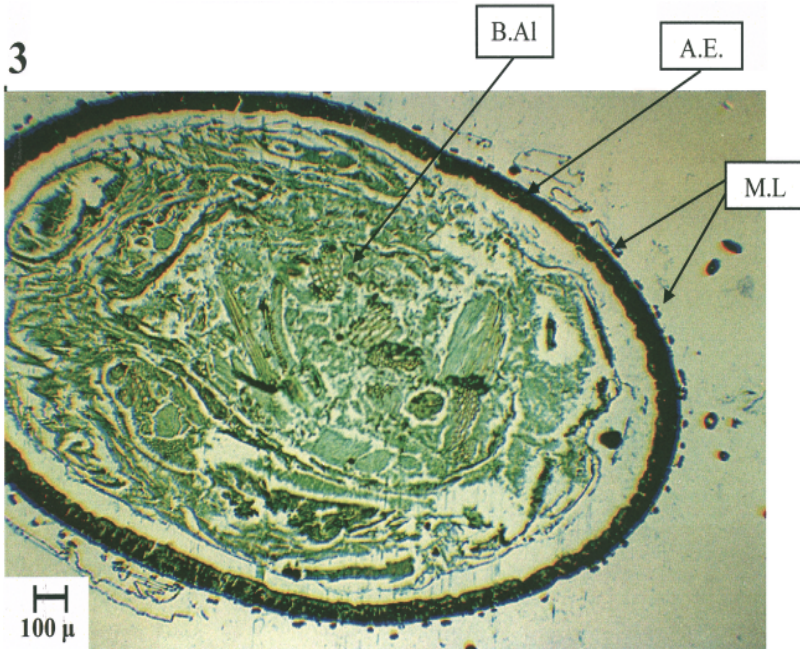
- ABBASSI, K., MERGAOUI, L., ATAY-KADIRI, Z., STAMBOULI, A. ET GHAOUT, S. 2003a. Effets des extraits de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) sur le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål, 1775). *Zoologica baetica*, 13/14: 203-217.
- ABBASSI, K., ATAY-KADIRI, Z. ET GHAOUT, S. 2003b. Biological effects of alkaloids extracted from three plants of Moroccan arid areas on the desert locust. *Physiological Entomology*, 28: 232-236.
- ADAAY, M.M. 1994. Some observations on the reproduction toxicity of the aqueous extract of *Peganum harmala* seeds. *Fitoterapia*, 65: 214-218.
- ADOTE, A.K. 1994. *Etude des propriétés insecticides de l'extrait de graines de neem Azadirachta indica*. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II, 116 pp.
- BELLAKHDAR, J. 1997. *La pharmacopée marocaine (Médecine arabe et ancienne et savoirs populaires)*. Ibis Press. Saint Etienne, 746 pp.
- BEN HALIMA, T., GILLON, Y. ET LOUVEAUX, A. 1984. Utilisation des ressources trophiques par *Doclostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Orthoptera, Acrididae). Choix des espèces consommées en fonction de leur valeur nutritive. *Acta Oecologica-Oecologia Generalis*, 54: 385-406.
- BEN SALAH, N., AMAMOU, M., JERBI, Z., BEN SALAH, F. ET YACOUB, M. 1986. Un cas de surdosage en *Peganum harmala* L. *Journal de Toxicologie Clinique et Expérimentale*, 6: 319-322.
- BRUNETON, J. 1987. *Eléments de phytochimie et de pharmacognosie*. Tec & Doc, Lavoisier. Paris, 585 pp.
- CHAUVIN, R., 1938. Anatomie et histologie du tube digestif de *Schistocerca gregaria*. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 18: 488-499.
- DADD, R.H., 1960. Some effects of dietary ascorbic acid on locusts. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 153: 128-143.
- DURANTON, J.F., LAUNOIS, M., LAUNOIS-LUONG, M.H. ET LECOQ, M. 1982. *Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Tome I*. Editions Gerdat. Paris, 695 pp.
- GRASSÉ, P.P., 1976. *Traité de Zoologie. Tome VIII*. Masson. Paris, 226-259.
- IDRISSI HASSANI, L.M. 2000. *Contribution à l'étude phytochimique du harmel Peganum harmala L. (Zygophyllaceae) et étude de ses effets sur la reproduction et le développement du criquet pèlerin Schistocerca gregaria Forsk.* Thèse Doctorat d'Etat. Université Ibn Zohr, Agadir, 214 pp.
- IDRISSI HASSANI, L.M., OULD AHMEDOU, M.L., CHIHRANE, J. ET BOUAICHI, A. 1998. Effets d'une alimentation en *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) sur la survie et le développement ovarien du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskål (Orthoptera, Acrididae). *Ethnopharmacologia*, 23: 26-41.
- JAHANDIEZ, E. ET MAIRE, R. 1932. *Catalogue des plantes du Maroc (Spermaphytes et Ptéridophytes). Vol. 2 : Dicotylédones et Archichlamydées*. Minerva. Alger, 557 pp.
- LEBRETON, P., 1982. Tanins ou alcaloïdes: deux tactiques phytochimiques de dissuasion des herbivores. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)*, 36: 539-572.
- MARTOJA, R. ET MARTOJA-PIERSON, M. 1967. *Initiation aux techniques de l'histologie animale*. Masson & Cie éditeurs. Paris, 329 pp.
- MERCK INDEX. 1989. *An Encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals. 11^{ème} édition*. S. Budavari. Rahway, N.J., U.S.A., 1606 pp.
- NASIRUDDIN, M. ET MORDUE (LUNTZ), A.J. 1993. The effect of azadirachtin on the midgut histology of the locusts *Schistocerca gregaria* and *Locusta migratoria*. *Tissue and Cell*, 25: 875-884.

- NATH, D., SETHI, N., SRIVASTAVA, R., JAIN, A.K. ET SINGH, R.K. 1993. Study on the teratogenic and antifertility activity of *Peganum harmala*. *Fitoterapia*, 64: 321-324.
- NEZELOF, C., GALLE, P. ET HINGLAIS, N. 1972. *Techniques microscopiques*. Flammarion Médecine Sciences. Paris, 287 pp.
- RASHAN, I.J. ET ADAAY, M.H. 1989. In vitro antiviral activity of the aqueous extract from the seeds of *Peganum harmala* L. *Fitoterapia*, 60: 365-367.
- SAYAH, F., FAYET, C., IDAOMAR, M. ET KARLINSKY, A. 1996. Effet of azadirachtin on vitellogenesis of *Labidura riparia* (Insect Dermaptera). *Tissue and Cell*, 28: 741-749.
- SAYAH, F., IDAOMAR, M., SORENZO, L. ET KARLINSKY, A. 1998. Endocrine and neuroendocrine effect of azadirachtin in adult females of *Labidura riparia*. *Tissue and Cell*, 30: 86-94.
- SAYAH, F. 1999. Action de l'azadirachtine, biopesticide potentiel extrait d'une plante Méliacée *Azadirachta indica*, sur la reproduction d'un insecte. *Actes du colloque international «Les substances naturelles au service de l'industrie et de la médecine»*: 57-64. Université My Ismail. Meknès.
- SCHLUTER, U. ET SCHULZ, W.D. 1984. Structural damages caused by neem in *Epilachna varivestis*: A summary of histological and ultrastructural data. I. Tissue affected in larvae. En: SCHMUTTERER, H. AND ASCHER, K. R. S. (Eds). *Natural Pesticides from the Neem Tree (Azadirachta indica A. Juss) and other tropical plants*: 227-236. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn.
- SHAPIRA, Z., TERKEL, J., EGOZI, Y., NYSKA, A. ET FRIEDMAN, J. 1989. Abortifacient potentiel for the epigeal parts of *Peganum harmala*. *Journal of Ethnopharmacology*, 27: 319-325.
- SIDDIQUI, S., KHAN, O.Y., FAIZI, S. ET SIDDIQUI, B.S. 1988. Studies in the chemical constituents of the seeds of *Peganum harmala*: Isolation and structure elucidation of two β -carboline lactams, harmalanine and harmalacidine. *Heterocycles*, 27: 1401-1410.
- SIMPSON, S. J. 1982. Changes in the efficiency of utilisation of food throughout the fifth-instar nymphs of *Locusta migratoria*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 31: 265-275.
- TRISELEVA, T.A. 1996. On the influence of feeding on different plants on the epithelium of the midgut in *Myzodes persicae* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomological Review*, 75: 155-161.



Planches 1 et 2.—Coupes transversales du mésentéron de *Schistocerca gregaria* (témoins).
 Planche 1: Mésentéron, vue d'ensemble. Planche 2: Assise épithéliale plissée, cellules basales regroupées en nids, noter l'épithélium haut et la musculature circulaire développée. M.C.: Musculature circulaire; A.E.: Assise épithéliale; B.Al: Bol Alimentaire; M.L.: Musculature lisse; Gr: grégaires.

Plates 1 and 2.—Cross sections of the midgut of *Schistocerca gregaria* (control). Plate 1: Mesenteron, overview. Plate 2: Basal epithelial cells are folded, note that the epithelium is high and the circular muscles are developed. M.C.: circular Muscle structure; A.E.: Basal epithelial cells; B.Al: Food Bowl; M.L.: Smooth Muscle structure; Gr: gregarines.



Planches 3 et 4.—Coupes transversales du mésentéron de *Schistocerca gregaria* chez des individus traités. Planche 3: Intestin dilaté, hauteur épithéliale faible et absence de plissement caractéristique. Planche 4: Détail, cellules vacuolisées à gros noyaux, disposées sur une seule assise musculaire circulaire peu développée. M.C.: Musculature circulaire; A.E.: Assise épithéliale; B.A.I.: Bol Alimentaire; M.L.: Musculature lisse.

Plates 3 and 4.—Cross sections of the midgut of *Schistocerca gregaria* (treated individuals). Plate 3: Intestine dilated, epithelial low height and lack of folding feature. Plate 4: Vacuolized cells with big nuclei, arranged on a single circular muscle sitting undeveloped. M.C.: Circular muscle structure; A.E.: Basal epithelial cells; B.A.I: Food bowl; M.L.: Smooth muscle structure.

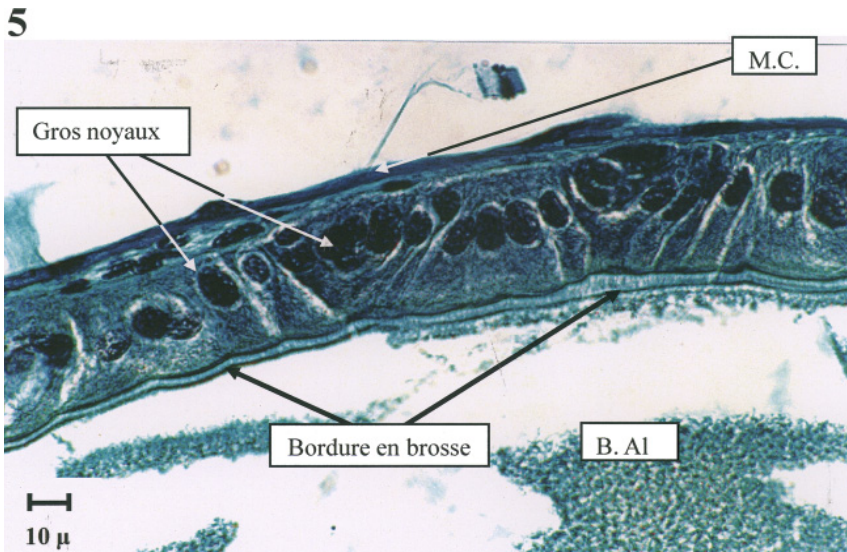


Planche 5.—Coupe transversale du mésentéron de *Schistocerca gregaria* chez des individus traités. Détail, noyaux des cellules hypertrophiées, chromatine visible.

Plate 5.—Cross section of the midgut of *Schistocerca gregaria* (treated individuals). Nuclei of the hypertrophied cells, visible chromatin.

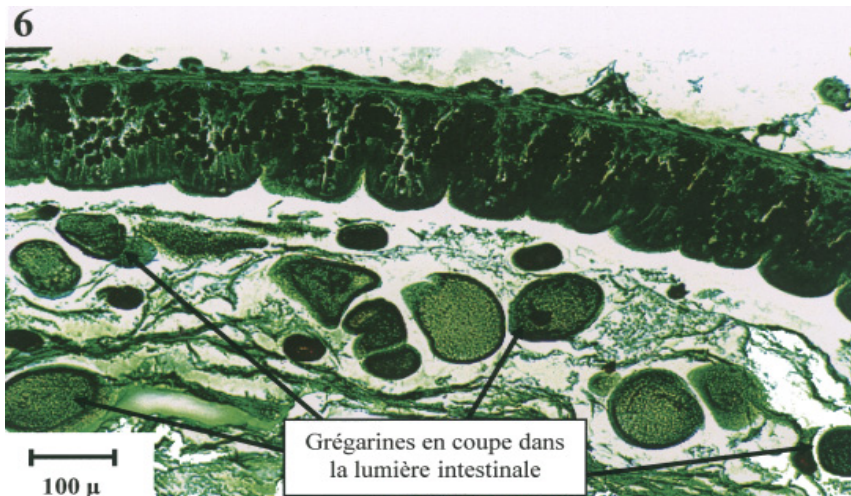
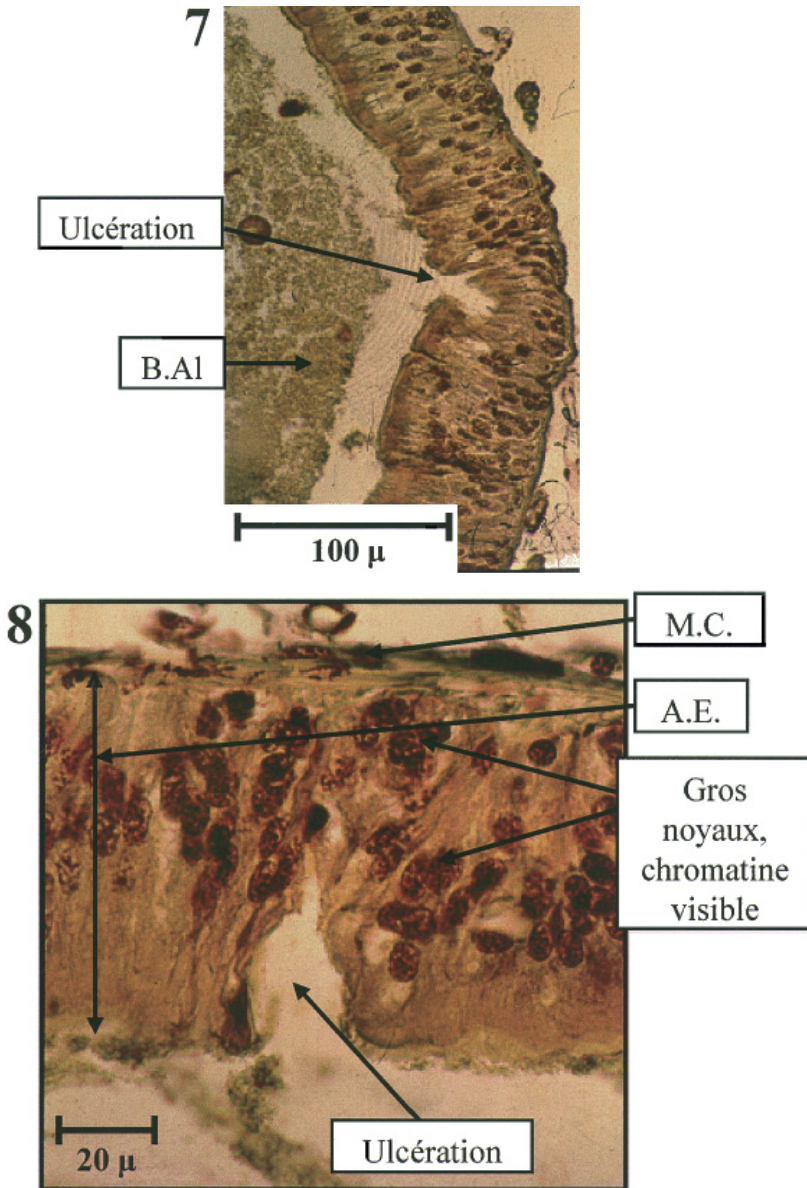


Planche 6.—Coupe transversale du mésentéron de *Schistocerca gregaria* (témoin). Grégarines abondantes dans la lumière intestinale.

Plate 6.—Cross section of the midgut of *Schistocerca gregaria* (control). Gregarins are abundant in the lumen.



Planches 7 et 8.—Coupes transversales du mésentéron de *Schistocerca gregaria* chez des individus traités. Planche 7: Présence d'ulcération dans le mésentéron. Planche 8: Détail de l'ulcération montrant les cellules nécrosées. M.C.: Musculature circulaire; A.E.: Assise épithéliale; B.Al: Bol Alimentaire.

Plates 7 and 8.—Cross sections of the midgut of *Schistocerca gregaria* (treated individuals). Plate 7: Presence of ulceration in the mesenteron. Plate 8: Detailed ulceration showing necrotic cells. M.C.: circular musculature; A.E.: basal epithelial cells; B.Al: Food bowl.