
Etude taxonomique

Un inventaire des Culicidés peuplant le lac des Oiseaux nous a permis de recenser différentes espèces. Dans l'ensemble, on observe une diversité des Culicidae avec une prédominance de la famille des Culicinae. A cet effet, l'analyse des relevés dans la zone d'étude montre, que la faune culicidienne est représentée par 6 taxons, appartenant à deux sous-familles : Anophelinae et Culicinae. Dans la sous-famille des Anophelinae, nous distinguons une seule espèce : *Anopheles sacharovi*. La sous famille des Culicinae comprend quatre genres et 6 espèces il s'agit de *Culex theileri*, *Culiseta morsitans*, *Culiseta ochroptera*, *Orthopodomyia pulcripalpis* et *Uranotaenia unguiculata*.

D'après Hassaine (2002), *Cx. theileri* et *Ur. unguiculata* figurent parmi les espèces à très large répartition et sont répandues dans l'Afrique méditerranéenne d'Est en Ouest. Seguy (1924) mentionne pour la première fois la présence de *Cs. morsitans* à Alger, confirmé par Senevet & Prunelle (1928). Par ailleurs, Ghidini (1934) signale la présence des larves de *Cs. morsitans* en Lybie, alors qu'au Maroc, cette espèce a été citée une seule fois à Tanger (Charrier, 1924). Plus tard Gaud (1953) et Trari (1991) précisent qu'ils n'ont jamais trouvé cette espèce au Maroc. Berchi (2000), a noté 7 espèces de Culicidae appartenant à deux sous familles, alors que Hassaine (2002), dans la région Ouest d'Algérie (Tlemcen), a révélé la présence de 20 espèces de Culicidae. De son côté, Djebbar (2009) et Bouabida *et al.*, (2012) signalent respectivement l'existence de 10 et 9 taxons appartenant à une seule sous famille celle des Culicinae ou *Culex* et *Culiseta* sont les taxons les mieux représentés. Brunhes *et al.*, (2000), rapportent que la faune Culicidienne d'Algérie est riche de 48 espèces. Cette diversité réside dans la climatologie et la diversité des biotopes offerts au développement des Culicidés. Une étude sur la biosystématique des Culicidés effectuée par Lounaci (2003) dans quatre stations de la région orientale d'Alger, du marais de Réghaia et de l'oued Sébaou de Tizi Ouzou a permis de recenser 13 taxons appartenant à la sous-famille des Culicinae. Il s'agit de la tribu des Aedini et des Culicini représentées respectivement par les genres *Aedes* et *Culex*. Selon Faurie *et al.*, (1980), le nombre d'espèces inventoriées est fonction du nombre d'individus récoltés.

La répartition des espèces de Culicidae dans les deux sites d'étude, montre que les genres *Anopheles* et *Culex* existent uniquement dans le gîte 2 (Sud-est du lac); *Culiseta ochroptera*

dans le gîte 1 (Sud du lac). Les résultats de l'abondance relative révèle que *Cs. morsitans* est l'espèce la plus représentée L'espèce *An. saccharovi* est le moustique le moins rencontré. Lors de notre prospection nous avons constaté la présence de polluants beaucoup plus dans le gîte 1. Les polluants les plus rencontrés sont des matières plastiques telles que les bouteilles et les sacs d'emballage, les morceaux de cartons, des tissus et des papiers de tout genre, les débris de matières organiques animaux et végétaux. La rareté des larves d'Anophelinae dans les gîtes pourrait être expliquée par le fait que les gîte larvaires ne présentent pas toutes les conditions requises et favorables à leur développement. Ceci serait en rapport avec la nature du gîte où les larves d'Anophelinae ont été récoltées, qui est moins polluée. La quantité en matière organique en décomposition détermine la couleur de l'eau et le rôle positif que joue ce facteur dans le choix du biotope larvaire a été mis en évidence par Bentley *et al.*, 1981.

Les gîtes larvaires des moustiques sont variés et sont susceptibles d'être contaminés par divers polluants. En raison de leurs modes de vie et d'alimentation, les larves de moustiques dans leur environnement, sont susceptibles d'être exposées à des polluants diverses pouvant entraîner des réponses très variées sur leur biologie.

D'une manière globale , cette première partie nous a permis de mettre en évidence que le lac des Oiseaux abrite une faune culicidienne variée parmi laquelle figure une espèce essentiellement ornithophile *Culiseta morsitans* potentiellement vectrice d'arbovirus responsables de l'encephalite equine de l'est (EEE).

Toxicologie du méthoxyfénazole

De nombreuses stratégies ont été mises en œuvre pour lutter contre les moustiques, allant de l'éradication des zones humides jusqu'à l'utilisation d'insecticides efficaces mais peu spécifiques. Aujourd'hui, les gîtes où se développent leurs larves sont souvent pollués par des xénobiotiques environnementaux. Il a été démontré que l'exposition de populations de moustiques à des polluants au stade larvaire peut moduler des phénomènes de résistance/tolérance aux insecticides chimiques, notamment par l'augmentation des activités enzymatiques de détoxification (Poupardin *et al.*, 2008; Riaz *et al.*, 2009; Poupardin *et al.*, 2012). A court terme ou à long terme certains xénobiotiques peuvent modifier l'expression de certains gènes de détoxification autrement dit l'induction d'enzymes de détoxification capables de métaboliser certains insecticides pouvant augmenter leur tolérance vis-à-vis des insecticides.

L'importante rémanence de ces insecticides dans l'environnement et le développement de phénomènes de résistance chez les insectes cibles, ont conduit à la nécessité de développer de nouveaux insecticides, tels que les régulateurs de croissance des Insectes (IGRs), parmi lesquels figure le méthoxyfénozide, objectif de notre étude

Tests de toxicité

L'évaluation des potentialités des IGRs dans le contrôle des moustiques a fait l'objet de recherches intensives (Cornel *et al.*, 2000). Bien que ces composés soient très toxiques pour les insectes, ils sont sans danger pour les mammifères et l'environnement (Smagghe *et al.*, 2012). Egalement, ces composés ont été largement utilisés dans notre laboratoire notamment sur les moustiques et sur d'autres espèces d'insectes (Rehimi & Soltani, 1999; Rehimi, 2004; Taïbi *et al.*, 2003; Boudjelida *et al.*, 2005; Aribi *et al.*, 2006; Khebbeb *et al.*, 2008; Soltani-Mazouni & Hami, 2010; Bouzeraa & Soltani-Mazouni, 2012; Alouani *et al.*, 2014; Selmane-Meskache, 2014).

Nos essais expérimentaux par le méthoxyfénozide sur les larves nouvellement exuviées du quatrième stade de *Cs. morsitans* ont mis en évidence un effet toxique significatif, affectant considérablement la mortalité des larves et des stades suivant. L'une des conséquences de cette mortalité revient principalement à une mue accélérée voire incomplète des larves. Ce même effet a été observé dans d'autres groupes de Diptères tel que *Chironomus tentans* de la famille des Chironomidae (Smagghe *et al.*, 2000). Beckage *et al.*, (2004) ont testé la potentialité du méthoxyfénozide (RH-2485), du tébufénozide (RH-5992) et du RH-5849 à l'égard d'*Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* et *Anopheles gambiae*, et le méthoxyfénozide s'est avéré le plus toxique avec des concentrations létales CL_{50} respectives de 128,5; 31,2; and 27,5 $\mu\text{g/L}$. Ainsi, ces analogues de l'ecdysone ont été classés selon leur efficacité en RH-2485 > RH-5992 > RH-5849.

D'autres travaux démontrent l'efficacité de cette molécule dans différents groupes d'Insectes, chez les Diptères comme *Culex pipiens* et *Culiseta longiareolata* avec des CL_{50} respectives de 25 et 24,54 $\mu\text{g/L}$ (Djébar, 2009) ou encore contre le Lépidoptère *Spodoptera littoralis* (Smagghe *et al.*, 2000) qui révèle une CL_{50} de l'ordre de 1,15 mg/L. Nos essais toxicologiques sur les larves du dernier stade *Cs. morsitans*, montrent un effet toxique significatif du méthoxyfénozide avec une CL_{50} de 0,059 mg/L qui se traduit par une mortalité croissante avec l'augmentation des différentes concentrations. Des effets létaux et sublétaux sur *Spodoptera frugiperda*, ont été également observés par le traitement des larves du cinquième stade jusqu'à

la nymphose avec le méthoxyfénoside incorporé à la nourriture (Zarate *et al.*, 2011). En comparant nos résultats à ceux cités précédemment nous pouvons avancer l'hypothèse selon laquelle la variabilité de la toxicité du méthoxyfénoside est dépendante de l'espèce. En effet *Cs. morsitans* est moins sensible que *Cx. quinquefasciatus*, *An. gambiae*, *Cx. pipiens* et *Cs. longiareolata* mais plus sensible qu'*Ae. aegypti* et *S. littoralis*. D'autres expériences ont montré que le méthoxyfénoside (RH-2485) est plus efficace que le tébufénoside (RH-5992) (Ishaaya *et al.*, 1995 ; Smaghe *et al.*, 1999), confirmés par d'autres essais prouvant que l'affinité du RH-2485 aux récepteurs est très grande par rapport à celle du RH-5992 chez *Plodia interpunctella* (Pyralidae) (Carlson *et al.*, 2001). Dans l'étude de l'activité résiduelle du méthoxyfénoside et du tébufénoside, les résultats obtenus montrent que les œufs de *Cydia pomonella* sont plus sensibles aux deux produits testés que les œufs de *Molesta grapholita* (Lépidoptera : Tortricidae) (Borchet *et al.*, 2004), et que le RH-2485 avec une CL₅₀ de 0,049 mg/kg était quatre fois plus efficace que le RH-5992 avec une LC₅₀ de 0,185 mg/kg chez *Diatraea grandiosella* (Lepidoptera: Crambidae) (Trisyono & Chippendale, 1997). L'activité comparée de trois agonistes des ecdystéroïdes l'halofénoside (RH-0345), le tébufénoside (RH-5992) et le RH-5849 a été examinée par application topique chez *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). Les DL₅₀ ont été estimées respectivement à 5,10, 0,05 et 0,005 µg/insecte (Hami *et al.*, 2005). Cette différence pourrait avoir pour origine la variabilité interspécifique dans la structure du récepteur de l'ecdysone des différents ordres d'insectes (Smaghe *et al.*, 1996 a). Williams *et al.*, 2002, proposent que la susceptibilité variable aux agonistes des ecdystéroïdes puisse être associée à l'induction de l'ecdystéroïde 26-hydroxylase (ecdysteroid-26-hydroxylase), une enzyme responsable du métabolisme des ecdystéroïdes.

Selon Soin *et al.*, (2010) la différence de toxicité in vivo et in vitro des agonistes de l'hormone de mue (RH-2485, RH-5992 et le RH-0345) et la spécificité de ces molécules chez deux espèces de Lépidoptères *Bombix mori* et *S. littoralis*, n'est pas basée sur l'activation différente des récepteurs (EcR/USP) dans les deux espèces mais cela peut être du aux paramètres in vivo dont l'importance relative reste à déterminer par exemple, la perméabilité de la cuticule, l'absorption/l'excrétion par l'intestin et la détoxification métabolique.

2.2 Types morphogénétiques

Il a été démontré que les IGRs affectaient le processus de mue en provoquant plusieurs types morphogénétiques. Des travaux ont démontré que l'administration des agonistes d'ecdystéroïdes, induit des mues précoces et incomplètes dans différents groupes d'insectes (Boudjelida *et al.*, 2005; Dhadialla *et al.*, 2005; Hammi *et al.*, 2005; Djebbar, 2009; Gelbic *et al.*,

20011; Zarate *et al.*, 2011).

Parmi les malformations enregistrées au cours de notre étude suite au traitement par le méthoxyfénozide, notons la présence d'intermédiaires larves-pupe, pupes blanches, pupes brunes et des adultes partiellement émergés. Ces malformations sont le résultat d'une perturbation du développement qui se manifeste par des mues rapides, donc incomplètes, qui affecte la nymphose et la mue imaginale. Dhadialla *et al.*, 1998, 2005, rapportent que le méthoxyfénozide accélère l'activation des gènes codant pour des protéines cuticulaires et la mise en place de la nouvelle cuticule, d'où l'explication de cette perturbation. L'incapacité aux adultes à s'exuvier relève probablement de l'inhibition de l'hormone d'éclosion par la persistance du méthoxyfénozide dans l'organisme de ces derniers. Les atteintes morphogénétiques identiques ont été observées chez différentes espèces d'insectes traités au méthoxyfénozide comme *Aedes aegypti* (Darvas *et al.*, 1998), le Coléoptère *Harmonia axiridis* (Carton *et al.*, 2003), le Lépidoptère *Spodoptera frugiperla* (Zarate *et al.*, 2011) et *Ephestia kuehniella* (Bouzeraa, 2014). Ces malformations ont été aussi observées chez *Cx. pipiens* (Boudjelida *et al.*, 2005; Amira, 2014) et chez *Ephestia kuehniella* (Hammi *et al.*, 2005) avec le halofénozide. Des types morphogénétiques ont été également observés chez *Cx. pipiens* avec d'autres IGRs comme le Flucycloxuron (Andalin), le Triflumuron (Alsystin), le Teflubenzuron (Dart) (Rehimi *et al.*, 1999), l'azadirachtine (Alouani *et al.*, 2009, 2013), le Kinoprene (Hamaidia, 2014) et le Novaluron (Djaghader *et al.*, 2013).

2.3 Effet sur la composition biochimique

Les paramètres biochimiques peuvent constituer un important outil de diagnostic pour évaluer les effets toxiques d'un insecticide. Chez les insectes, l'hémolymphe subit des modifications métaboliques diverses au cours du développement (larve, pupa, adulte) qui sont liées aux différents états physiologiques de l'insecte (Nowosielski & Patton, 1965). Ces modifications métaboliques intenses sont liées aux différents systèmes hormonaux et neurosécrétoires (Buck, 1953; Marty, 1968; Lamy 1969). Les dosages biochimiques des métabolites corporels de *Cs. morsitans* ont mis en évidence une réduction du poids des larves après traitement par le méthoxyfénozide. La réduction significative de la croissance pondérale des larves L4 de deux jours est très marquée, par rapport aux témoins. Cette réduction serait probablement due au rôle anti-appétant du méthoxyfénozide qui peut s'expliquer par une réduction des réserves énergétiques, allouées à la croissance (contenus en lipide et en glucides)

dans les cellules de stockage des moustiques ou encore par la mobilisation de ces ressources pour l'initiation des processus de détoxification. Une récupération de la croissance pondérale a été observée dès le 4^{ème} jour dans les séries traitées. Ces résultats suggèrent que la durée d'exposition favoriserait cette perturbation de la croissance pondérale. Des résultats similaires ont été obtenus avec *Culex pipiens* et *Culiseta longiareolata* ou une diminution significative du poids corporel a été obtenue lors du traitement par le méthoxyfénozide et l'halofénozide (Djebar, 2009), également avec *Cx. pipiens* après traitement par l'halofénozide (Amira, 2014). D'autres travaux sont en accord avec nos résultats ou l'application d'analogues d'hormones de mue a inhibé le gain de poids des larves de *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) (Carton *et al.*, 2003). Nos propres observations confirment également les résultats établis par Bouaziz *et al.*, (2011), Djeghader *et al.*, (2013) après traitement des larves de *Cs. longiareolata* et *Cx. pipiens* avec le novaluron qui est un IGRS inhibiteur de la chitine. Cette diminution de poids a été aussi obtenue après traitement des larves de *S. littoralis* avec le méthoxyfénozide, le buprofezin et le pyriproxifen (Pineda *et al.*, (2007), Nasr *et al.*, (2010)). Cependant l'exposition du Coléoptère *Tenebrio molitor* à l'halofénozide n'entraîne aucune modification de la croissance pondérale (Lakbar, 2000). Résultat également observé avec le RH-5849 et le tébufénozide chez *Spodoptera exigua* (Smagghe & Degheele, 1994).

Les métabolites jouent un rôle essentiel dans la physiologie des insectes principalement dans diverses réactions pouvant assurer la catalyse biochimique ainsi que la régulation. Une diminution dose-dépendante des protéines totales a été notée chez *Cs. morsitans*. Chez les moustiques autogènes par exemple les protéines stockées aux stades larvaires sont utilisées pour l'oogenèse. Cependant chez les moustiques anautogènes, le repas sanguin représente la principale source de protéines nécessaires (Briegel, 1985). Quant aux glucides ils représentent une source d'énergie importante et servent à l'élaboration des produits génitaux et des structures membranaires. Troy *et al.*, (1975) ont démontré que les lipides représentent 35% de la composition des ovocytes chez *Aedes aegypti*. L'élévation du contenu lipidique avant l'émergence aurait un rôle dans l'induction du développement ovarien chez les moustiques anautogènes (Sawabe & Moriyabashi 2000).

Dans notre étude le dosage des principaux constituants réalisé dans le corps entier des larves du dernier stade de *Cs. morsitans*, révèle une modification de la composition biochimique. Des fortes concentrations en protéines dans l'hémolymphe sont en rapport avec la synthèse de la nouvelle cuticule (Bourguet & Exbrayat, 1977). Chez *Diatraea grandiodella*, des concentrations élevées sont observées au cours du stade larvaire et diminuent par la suite au

stade nymphale (Chippendale, 1970). Le même phénomène est observé chez *Laspeyresia pommonella* (Sieber & Benz, 1978). Nos résultats révèlent une diminution des protéines totales, glucides et des lipides chez les individus traités par le méthoxyfénozide comparés aux individus témoins. La réduction de la quantité des protéines induite par le méthoxyfénozide chez les larves de *Cs. morsitans* est également observée avec d'autres IGRs sur différentes espèces d'insectes. Ces résultats sont semblables à ceux de Abd El-Mageed, 2008 et Ghoneim *et al.*, 2012 avec un autre analogue de l'hormone de mue, le tébufénozide. Egalement l'halofénozide (RH-0345) appliqué aux femelles adultes de *Blattella germanica* (Diptera) nouvellement exuviées réduit les taux hémolymphatiques (Rouibi, 2002) ainsi que chez *T. molitor* (Soltani *et al.*, 2002). Les effets des IGRs sur le taux des protéines, glucides et lipides chez les moustiques et chez d'autres espèces d'insectes ont fait l'objet de plusieurs études notamment chez *Aedes aegypti* (Ziegler & Ibrahim, 2001); *Anopheles gambiae* (Kaufmann & brown, 2008); l'acide mévalonique (anti-JH) et le chlorfluazuron sur *Spodoptera littoralis* (Amer, 1990; Ghoneim, 1994); le novaluron (inhibiteur de la synthèse de chitine) sur *Culiseta longiareolata* (Bouaziz *et al.*, 2011) et *Culex pipiens* (Djeghader *et al.*, 2013); le buprofezin, l'hexaflumuron, le lufenuron (inhibiteurs de la synthèse de la chitine), le tébufénozide (analogue de la 20-E) et le pyriproxifen (analogue de l'hormone juvénile) sur *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) (Assar *et al.*, 2010); le pyriproxifen, le tébufénozide et le lufenuron sur *Schistocerca gregaria* (Orthoptera: Acrididae) (Hamadah *et al.*, 2012). Les travaux de Djebbar, 2009 ont montré que le contenu en protéines totales, glucides et lipides diminuent après traitement avec le méthoxyfénozide et l'halofénozide chez *Culex pipiens* et *Culiseta longiareolata*. Egalement Amira (2014) démontre que l'halofénozide perturbe le taux des protéines, glucides et lipides chez *Cx. pipiens*. Une baisse de la protéinémie est observée aussi chez *S. littoralis* après traitement avec le RH-5849 (Smaghe & Degghele, 1992). La modification dans la concentration des protéines résulte du changement de volume d'hémolymphe sous l'effet de l'insecticide (Sugumaran, 2010) d'où la diminution de la teneur de protéines des larves traitées. Cette réduction est expliquée par l'effet des IGRs sur les cellules neurosecrétices responsables de la synthèse des protéines (Bakr *et al.*, 2007), par l'inhibition de la synthèse et le métabolisme d'ADN ou l'interférence des analogues d'ecdysone avec la synthèse de protéines (Padmaje & Rao 2000).

Au terme de cette étude il semblerait que le méthoxyfénozide exerce un effet cytotoxique sur les paramètres biochimiques par rapport aux témoins. Les perturbations quantitatives observées dans ce travail, peuvent être liés à la capacité des IGRs de modifier la synthèse ou le transport de certains métabolites et de perturber le fonctionnement de l'organisme (Leonardi *et al.*, 2001;

Rodriguez-Ortega *et al.*, 2003).

2.4 Effet sur la durée de développement

Les processus de mue et de la métamorphose sont contrôlé par des hormones et neurohormones (Gilbert *et al.*, 2002; Lafont *et al.*, 2005; Gilbert & Rewitz, 2009). Les hormones de mue ou ecdystéroïdes sont des activateurs primaires du développement des insectes et leurs rôles dans la régulation de la mue et la métamorphose sont bien caractérisés (Spindler *et al.*, 2009). Les conditions telles que la température, l'humidité relative, la photopériode ou la nature de la nourriture, modifient les durées de développement (Rehimi, 1993).

Le méthoxyfénozide, testé à la CL₅₀ sur les larves du dernier stade de *Cs. morsitans* entraîne des perturbations du temps de développement. En effet ce travail a pu mettre en évidence que le méthoxyfénozide entraîne une accélération des processus de la mue qui se manifeste par un raccourcissement significatif de la durée la nymphose et de la mue imaginale comparativement aux témoins. Ce même effet est aussi observé chez le Lépidoptère *Spodotera littoralis* (Pineda *et al.*, 2007) et chez *Spodoptera frugiperda* (Zarate *et al.*, 2011) ou le méthoxyfénozide a affecté le développement larvaire. L'accélération de la nymphose a donné naissance à des formes non viables (larve- puppe). Ceci serait vraisemblablement dû à un phénomène de saturation hormonale chez les individus traités. Des effets similaires sont aussi rapportés chez d'autres insectes comme *Platinota idaeulis* avec le tébufénozide (Biddinger *et al.*, 2006). En effet la 20E initie le processus de mue (Truman & Riddiford, 2007). L'apolyse larvo-nymphale se produit et se termine avant le pic larvaire de la 20E, par contre, l'apolyse nympho-adulte commence au début de l'augmentation du taux de la 20E nymphale. L'interaction dans l'homéostasie de ces hormones avec des sources exogènes d'hormone ou encore avec leurs analogues de synthèse peut conduire à une perturbation dans le développement des insectes cibles (Jenkins *et al.*, 1992).

2.5 Effet sur la reproduction

L'évolution de la fécondité des femelles peut être directement reliée à l'acquisition des ressources. Lors de la maturation, la demande énergétique est dirigée par les besoins en vitellogenèse et les autres processus précédant la ponte (Novoseltsev *et al.* 2003). De nombreuses études réalisées sur divers ordres d'insectes ont démontré que le processus de la reproduction est sous le contrôle de la 20E et l'hormone juvénile (Engelmann, 1979 ; Davis *et*

al., 1990 ; Cusson *et al.*, 1994 ; Gäde & Hoffman, 2005). Toute interférence dans l'homéostasie de ces hormones avec des sources exogènes (agonistes ou antagonistes) peuvent entraîner des anomalies dans la croissance des ovocytes, la formation des œufs, et l'embryogenèse (Smagghe *et al.*, 2003). A cet effet différents travaux ont démontré la toxicité des IGRs sur le potentiel reproducteur. Les agonistes des ecdystéroïdes en général peuvent affecter la fécondité et/ou la fertilité chez des différents ordres d'insectes (Knight, 2000; Sun *et al.*, 2000; Osorio *et al.*, 2008; Pineda *et al.*, 2009; Luna *et al.*, 2011). Notre étude révèle que le traitement des larves du dernier stade de *Cs. morsitans* avec le méthoxyfénozide affecte certains paramètres de la reproduction. Une réduction significative de la fécondité et de la fertilité a été observée avec l'augmentation des concentrations. Aucune ponte n'a été enregistrée à la concentration la plus élevée (0,072mg/L). Il semble que les concentrations nécessaires pour réduire le potentiel reproducteur des femelles doivent être très élevées pour induire une stérilité importante. Ces effets peuvent être le résultat de l'interférence du méthoxyfénozide avec la synthèse de la vitellogénine (Pineda *et al.*, 2007). Hammi, *et al* (2005), Soltani- Mazouzi, *et al.*,(2012) et Bouzeraa (2014) ont également rapporté que la fécondité et la fertilité des femelles d'*E. kueniella* ont été affecté par un traitement au méthoxyfénozide par application topique. Ce même effet a été observé chez le Lépidoptère *Spodoptera litura* (Shahout, 2011), et également chez *Spodoptera exigu* ou une réduction significative de la fertilité a été enregistrée (Christian-Luis & Pineda, 2010). Chez de nombreuses familles de Lépidoptères telles que les Crambidae, Noctuidae, Pyralidae, et Tortricidae une réduction de la fécondité (Smagghe *et al.*, 1996 b; Rodriguez *et al.*,2001) et une réduction de la fertilité (Smagghe & Degheele 1994; knight, 2000) ont été enregistrées avec un autre analogue de l'hormone de mue , le tébufénozide.

Par ailleurs de nombreux travaux ont démontré chez plusieurs espèces d'Insectes que le tébufénozide, l'halofénozide et le méthoxyfénozide affectent négativement la fécondité et la fertilité des Diptères, Coléoptères et des Lépidoptères comme le Diptère *Chironomus riparius* ((Tassou & Shultz, 2013), les Coléoptères *Leptinotarsa decemlineata* (Farinos *et al.*, 1999) et *Tenebrio molitor* (Taibi *et al.*,2003)], les Lépidoptères *Ephestia kuehniella* (Khebeb *et al.*,2008) et *Platynota idealus* (Biddinger & Hull, 1999). Les travaux de Daas-Maamcha (2006) ont rapporté également que l'application de plusieurs mimétiques de l'hormone de mue tels que le méthoxyfénozide, le tébufénozide, et l'halofénozide sur les femelles *Eupolybothrus mudicornis* (Myriapode) affectait la vitellogénèse.

Récemment d'autres expérimentations ont été réalisées avec d'autres régulateurs de croissance des insectes, analogues de l'hormone juvénile chez le Coléoptère *Rhizopertha dominica*, le traitement par le méthoprène a provoqué une réduction de la fécondité des femelles

(Athanassiou, *et al.*, 2011). Egalement des travaux antérieurs avec d'autres IGRs tels que le piriproxyfène et le diflubenzuron, utilisés sur des larves de moustiques du genre *Ae. aegypti*, révèlent une réduction significative du potentiel reproducteur (Kamal & Khater, 2010).

Les effets des analogues de l'hormone de mue sur la reproduction ont été largement étudiés et se sont avérés très variables, suivant le stade de développement, le moment du traitement ou la méthode de traitement utilisée (Dallaire *et al.*, 2004). En effet Moulton *et al.*, (2002) montrent que la potentialité du méthoxyfénoside à l'égard des Lépidoptères est plus importante par ingestion que par application topique.

Globalement les résultats de cette étude démontrent clairement les potentialités du méthoxyfénoside à l'égard du moustique *Cs. morsitans*. En effet les concentrations létales de ce composé peuvent affecter le développement des larves du dernier stade engendrant des perturbations se traduisant par des mues précoces. Les signes manifestes, sont des types morphogénétiques induisant des individus non viables. Outre ces perturbations morphologiques, ce mimétique de l'hormone de mue testé affecte le poids corporel, ainsi que le contenu des principaux métabolites (protéines, lipides, glucides). Ceci suggère un effet dépressif de ce composé sur le système reproducteur des survivants chez *Cs. morsitans*, en interférant avec des processus physiologiques sous contrôle endocrinien.

CONCLUSION

Conclusion et perspectives

L'usage intensif ces dernières années des pesticides en particulier les insecticides, a conduit à une contamination importante de l'environnement et à l'apparition d'effets néfastes sur de nombreux organismes vivants comme l'Homme et les animaux. Malgré leur interdiction ces produits restent très utilisés, notamment dans le domaine agricole. Le problème de la contamination se pose donc encore pour de nombreuses années. Un programme de recherche a mis au point des composés nouveaux, plus sélectifs, moins toxiques pour les organismes non ciblés et à faible risque écotoxicologique, les régulateurs de croissance des insectes (IGRs). Ainsi, le principal objectif de notre travail était d'étudier les effets de l'un de ces composés le méthoxyfénozide analogue le l'hormone de mue sur des larves de moustiques.

Les moustiques génèrent une nuisance importante. Les gîtes où se développent leurs larves sont souvent pollués par des xénobiotiques environnementaux (les pesticides par exemple) qui leur permettent de les tolérer provoquant ainsi leur prolifération. Cette étude fournit une évidence de la présence d'une biodiversité culicidienne dans le lac des Oiseaux (EL-Tarf). Dans un premier temps nous avons prospecté ce site pour lister les gîtes abritant les stades pré-imaginaux. Notre choix s'est limité à deux gîtes (Sud et Sud-est du lac) lesquels sont accessibles et surtout aussi par rapport à l'abondance de cette faune.

L'analyse des relevés dans la zone d'étude, montre que la faune culicidienne est représentée par 6 espèces, appartenant à deux sous-familles : Anophelinae et Culicinae. Les espèces inventoriées appartiennent à deux sous familles Il apparait ainsi une prédominance de la sous-famille des Culicinae. Dans la sous-famille des Anophelinae, nous distinguons une seule espèce : *Anopheles sacharovi*. La sous famille des Culicinae comprend quatre genre et 6 espèces il s'agit de *Culex theileri*, *Culiseta morsitans*, *Culiseta ochroptera*, *Orthopodomyia pulcripalpis* et *Uranotaenia unguiculata*. *Culiseta morsitans*, modèle utilisé dans notre étude est l'espèce la plus abondante.

Les essais réalisés avec le méthoxyfenozide (RH-2485) ont montré une toxicité à l'égard des larves du dernier stade (L₄) de *Cs. morsitans* induisant une mortalité significative par rapport aux témoins. Ces tests toxicologiques ont permis de déterminer les concentrations létales CL₅₀ et CL₉₀ et révèlent des effets insecticides avec une relation dose-réponse.

Testé à la concentration létale CL₅₀ le méthoxyfénozide a révélé une activité insecticide en perturbant la croissance pondérale, des larves avec une significativité surtout pour les larves de deux jours. Le méthoxyfénozide a aussi affecté le contenu en protéines, glucides et lipides des séries témoins et traités au cours des différents âges, avec un effet très marqué, à deux jours. Par ailleurs des perturbations du développement ont fait apparaître des types morphogénétiques suite à une accélération de la nymphose et de la mue imaginale. Ce résultat suggère la persistance et l'accumulation des agonistes de l'hormone de mue dans les tissus. En effet le traitement par le méthoxyfénozide a montré une réduction de la fécondité et fertilité des adultes qui ont survécu au traitement des larves induisant une stérilité très significative aux concentrations les plus élevées. Les résultats obtenus sont accord avec des travaux antérieurs qui confirment l'efficacité de ces agonistes de l'hormone de mue.

La grande spécificité de ces IGRs fait de ces composés une excellente alternative aux insecticides chimiques contre la lutte des larves de moustiques.

Il serait intéressant de compléter ce travail en évaluant l'effet du RH-2485 sur l'aspect endocrinien par l'analyse quantitative de l'hormone de mue et d'évaluer l'effet de cette molécule avec des concentrations sublétales, sur les différents stades larvaires et à différents temps d'exposition.