



Les insectes impliqués dans les pertes post-récolte des céréales au Cameroun : méthodes actuelles de lutte et perspectives offertes par la transgénèse

F. M. NANFACK^{1*}, Y. Z. DONGMO² et M.A.R. FOGANG³

¹Centre de Biotechnologie de Nkolbisson, Unité de Référence Nationale pour le Contrôle des Vecteurs, Université de Yaoundé I, 3851 Messa-Yaoundé, Cameroun.

²Programme d'Appui à la Rénovation et au Développement de la Formation Professionnelle dans les Secteurs de l'Agriculture, l'Élevage et la Pêche (AFOP), 3383 Yaoundé, Cameroun.

³Département de Biochimie, Laboratoire de Pharmacologie et Toxicologie, Université de Yaoundé I, 812 Yaoundé, Cameroun.

* Auteur correspondant; E-mail: fnanfackminkeu@yahoo.com, Tél. +237 677 75 40 21

RESUME

Les céréales sont à la base de l'alimentation camerounaise et sont les produits alimentaires les plus importés. Ces importations sont indispensables pour pallier aux déficits alimentaires en céréales et aux famines périodiques. Ce déficit en céréales s'explique entre autres par des pertes post-récolte dues aux insectes ravageurs dont *Sitophilus* et *Tribolium* sont les genres majeurs. Les céréaliculteurs Camerounais utilisent majoritairement des plantes insectifuges/insecticides et des insecticides chimiques pour lutter contre les insectes ravageurs des stocks. Plusieurs plantes utilisées sont méconnues et par conséquent il n'y a pas de données sur leur toxicité. Certains insecticides entraînent des pollutions de l'environnement et des empoisonnements; de plus, la plupart des ravageurs majeurs ont développé des résistances aux insecticides utilisés contre eux. Face à ces difficultés, des insectes transgéniques et mutants pourraient être des outils supplémentaires pour lutter contre les insectes ravageurs des céréales stockées en préservant l'environnement et la santé. La compréhension de la biologie de ces insectes permettra de mieux les combattre. Cet article de synthèse fait le point sur les insectes impliqués dans la destruction des stocks de céréales au Cameroun, les moyens de lutte utilisés et la possibilité de recourir aux insectes transgéniques/mutants comme un moyen de lutte complémentaire.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Cameroun, céréales, pertes post récoltés, insectes mutant/transgéniques.

INTRODUCTION

Les céréales représentées principalement par le riz, le maïs, le sorgho et le blé sont les aliments de base dans plusieurs pays dont les pays en voie de développement à l'instar du Cameroun. D'après l'Organisation Mondiale du Commerce (2007), les principales importations de produits alimentaires au Cameroun sont le riz,

le blé et le maïs. Malgré les efforts consentis par les pouvoirs publics pour accroître la production, l'autosuffisance n'est pas atteinte et des famines périodiques affectent certaines régions, notamment septentrionales (MINADER, 2009). Au Cameroun, 15,4% de la population, soit environ 3 millions d'individus sont encore exposés à la famine et à la sous-alimentation et 33% des enfants

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.42>

souffrent de malnutrition chronique (FAO, 2013). Les importations de céréales au Cameroun ont augmenté de 76 à 174 millions de dollars américains entre 1998 et 2007 ; 100% du blé, 90% du riz et 15% de maïs consommés au Cameroun sont importés (MINADER, 2009 ; Awono et Harvard, 2011). Les céréales sont cultivées dans toutes les zones agroécologiques du pays en fonction du climat et du relief (Njomaha, 2002). Dans tous ces bassins de production, les pertes post-récolte constituent l'une des contraintes auxquelles font face les agriculteurs. Les pertes post-récolte au Cameroun sont dues à de mauvaises techniques de récolte, méthodes inadéquates de séchage favorisant les moisissures et aux insectes ravageurs (Waongo et al., 2013). Ces derniers avec des dégâts évalués entre 25 et 40% des stocks après 6 mois de stockage sont les plus impliqués dans les pertes post-récolte (Ngamo et Hance, 2007). Au Nord Cameroun, *Tribolium castaneum* et *Sitophilus oryzae* sont connus comme des dévastateurs majeurs de nos céréales pendant la conservation (Ngamo et Hance, 2007; Tamgno et Ngamo, 2013). Malgré les insecticides, les champignons entomopathogènes, les bactéries, les méthodes traditionnelles et bien d'autres utilisées contre ces insectes ravageurs, on note une persistance des pertes post récolte (Taponjou et al., 2002; Ngamo et al., 2007a; Goudoum et al., 2010 ; MINADER, 2013). De plus, on observe le développement de résistances multiples des ravageurs majeurs aux insecticides qui sont largement utilisés contre eux (Odeyemi et al., 2010; Zhu et al., 2010). Il est donc important de trouver d'autres moyens de lutte pour appuyer ceux existant. L'une des techniques envisageables est celle dite de l'insecte mâle stérile, qui a fait ses preuves depuis les années 1950 pour combattre la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) et la lucilie bouchère (*Cochliomyia hominivorax*), éradiquées de plusieurs pays grâce aux lâchers massifs de mâles stérilisés par irradiation, qui entrent en compétition avec les mâles sauvages (Handler et al., 2009). Pour certains insectes nuisibles dont le

moustique vecteur de la fièvre jaune , les avancées en biotechnologie et génie génétique ainsi que le séquençage des génomes ont permis de mettre au point des techniques de suppression de population en lâchant des insectes mâles portant un caractère létal via les insectes transgéniques et mutants (Harris et al., 2012 ; Calla et al., 2014; Carvalho et al., 2014). Ces approches ont l'avantage de ne pas polluer l'environnement ou d'exposer le consommateur aux pesticides, ne nécessitent pas une implication totale de la communauté, et sont durables. Le but de ce travail de synthèse est de discuter la possibilité d'utiliser les insectes transgéniques/mutants comme un outil supplémentaire contre ces insectes ravageurs des stocks des céréales en passant en revue les insectes impliqués dans ces pertes et les méthodes de lutte utilisées contre eux au Cameroun.

LES INSECTES IMPLIQUES DANS LES PERTES POST-RECOLTE DES CEREALES AU CAMEROUN

La bonne conservation de nos produits permet d'assurer les semences et les vivres de réserve tout en préservant leur qualité. Pendant cette conservation, les céréales sont attaquées par plusieurs insectes appartenant aux ordres suivants : Coléoptères, Orthoptères, Isoptères, Hémiptères, Lépidoptères (Tableau 1).

Les Coléoptères : Les parasites les plus nombreux des céréales stockées appartiennent à cet ordre (Ngamo et Hance, 2007; Waongo et al., 2013; Adjalien et al., 2014). Au Cameroun, la famille la plus fréquente est celle des Ténébrionidés représentée par *Tribolium castaneum*, *T. confusum* et *Cryptolestes ferrugineus* (Mallamaire, 1965; Kouninki et al., 2007; Tamgno et Ngamo, 2013). Cette dernière est un ravageur modéré qui ne s'attaque qu'aux débris de maïs et sorgho au Nord Cameroun et son action serait facilitée par des ravageurs majeurs ; *T. confusum* quant à lui est l'un des dévastateurs secondaires des stocks de mil et maïs dans la même région. *T. castaneum* est assez fréquent, il est impliqué dans la dégradation des stocks

de maïs, de mil et de sorgho ; dans la région de l'extrême-Nord du Cameroun, cette espèce est le ravageur secondaire des céréales et légumes (Kouninki et al., 2007). A côté de cette famille, il y a celle des Curculionidés ou charançons dont les plus rencontrés au Cameroun sont: *Sitophilus granarius*, *Sitophilus oryzae* et *Sitophilus zeamais* (Akob et Ewete, 2011). Ces deux dernières ont un rôle majeur dans la destruction des stocks au Nord et Ouest Cameroun ; *S. zeamais* détruit les stocks de maïs et sorgho tandis que *S. oryzae* détruit riz, maïs, sorgho et mil (Mallamaire, 1965; Ngamo et al., 2007b, Tamgno et Ngamo, 2013; Akob et Ewete, 2011). *S. oryzae* et *T. castaneum* parasitent toutes les graines des céréales (riz, maïs, sorgho, mil, blé, orge, etc. et par conséquent seraient d'excellentes cibles pour les techniques de l'insecte stérile. Ces charançons tout comme les Chrysomelidés représentés par *Acanthoscelides sp* sont très connus des céréaliculteurs de l'Ouest-Cameroun, même si ce genre s'attaque principalement aux légumineuses. La famille de Bostrychidés est également présente au Cameroun et représentée entre autres par *Rhizopertha dominica* qui est impliqué dans la destruction des stocks de sorgho et maïs dans la vallée du Logone dans le Nord-Cameroun (Tamgno et Ngamo, 2013; Tamgno et Tinkeu, 2014).

Les Orthoptères au Cameroun sont représentés principalement par les cafards ou cancrelats qui souillent les céréales de leurs excréments. *Periplaneta americana* est l'espèce majeure de ce genre et est présente sur toute l'étendue du territoire camerounais (Rageau, 1953). Les cafards sont répartis dans toutes les régions du Cameroun et on a très peu de données sur la densité des espèces par région.

En plus des céréales, les Isoptères ou termites qui sont des insectes sociaux s'attaquent aussi aux bois de construction, aux meubles et aux plantes sur pied. Les termites sont signalés dans la région forestière du Cameroun, les hauts plateaux de l'Ouest et dans les monts Mandara du Cameroun (Seignobos et al., 1996). Des études doivent

être faites pour caractériser les espèces de termites du Cameroun et distinguer les espèces impliquées dans la destruction des stocks des céréales et celles consommées (termitophagie) puisque riches en protéines et lipides (Malaisse, 2004).

Quatre familles (*Cicadellidae*, *Pentatomidae*, *Delphacidae*, *Alydidae*) dominées par le genre *Nephotettix* de l'ordre des Hémiptères sont impliquées dans la destruction du riz et la transmission du virus de la panachure jaune du riz au Nord-Cameroun (Sadou et al., 2008). La famille des Lygaeidés représentée par le genre *Aphanus* serait présente également au Nord-Cameroun puisque a été signalé comme ravageurs des stocks au Tchad (FAO, 1995). Ces punaises se nourrissent aux dépens des céréales qu'elles perforent de leur rostre et vident de leur contenu (Mallamaire, 1965).

Les familles de Lépidoptères signalées sont les Momphidés, les Géléchiidés, les Pyralidés, et les Noctuidés (Ngamo et Hance, 2007). Parmi les Momphidés, la chenille de *Pyroderces simplex* (la chenille *Pyroderces simplex*) parasite les graines de maïs, de sorgho et de mil. *Sitotroga cerealella* signalé au Nord-Cameroun est un Géléchiide très nuisible au mil, au maïs et au riz ; les adultes aux ailes repliées s'insinuent dans les grains stockés (Seignobos et al., 1996). Les ravageurs potentiels de la famille des pyrales sont : *Corcyra cephalonica* ou pyrale du riz qui a été signalé en territoire Mofu dans le Nord-Cameroun où il détruit les stocks de mil, sorgho et riz (Seignobos et al., 1996; Tamgno et Ngamo, 2013); *Ephestia kuehniella* qui est considéré comme un ravageur secondaire de riz, mil, maïs et sorgho dans le Nord Cameroun; *Ephestia Cautella* qui fait partie des teignes qui s'attaques aux denrées ; *Plodia inter punctella* qui s'attaque aux graines de riz, blé, maïs, semoules, pâtes alimentaires, légumes secs, haricot, arachides (Guèye et al., 2011). Cette dernière espèce originaire de l'Inde est présente au Cameroun (Gilligan et Passoa, 2014).

LES METHODES DE LUTTE CONTRE LES INSECTES RAVAGEURS DES STOCKS

Le Cameroun prévient l'introduction de nouvelles espèces d'insectes ravageurs sur son sol grâce à la politique de veille permanente que mène la brigade phytosanitaire du ministère de l'agriculture et du développement rural (MINADER), postée aux portes des aéroports, des ports et aux frontières (INS, 2014). Tout produit agroalimentaire susceptible d'être l'hôte de ravageurs est soumis à la quarantaine. On note néanmoins des légèretés dans l'application de ce contrôle notamment dans les aéroports, probablement dues aux effectifs insuffisants, aux manques de structures et matériels adéquats. Il en résulte un afflux constant, mais difficilement quantifiable, d'espèces de ravageurs déjà établies ou de nouvelles espèces à potentiel invasif. Exemples de *Tribolium* qui proviendrait de régions d'Asie méridionale au climat chaud et sec (Benetton, 2010); *Sitophilus* et *Plodia interpunctella* originaires de l'Inde (Gilligan et Passoa, 2014).

A côté de cette prévention, les méthodes de lutte utilisées sont : la lutte traditionnelle, la lutte biologique, la lutte physique et la lutte chimique (Tableau 2).

La lutte traditionnelle

Les paysans ont développé depuis des années des techniques souvent très élaborées et maîtrisées. Mise à part la fonction de stockage, les greniers et autres structures traditionnelles (pots, canaries) ont été conçus de façon à réduire au maximum les pertes causées par les principaux ennemis des récoltes dont les insectes (Ngamo et al., 2007a). On note également l'utilisation de la cendre, de pigments, de plantes insectifuges ou insecticides telles que *Cupressus*, *Hyptis spicigera*, *Vepris heterophylla* et *Wissadula amplissima*, *Chenopodium ambrosioides*, *Annona senegalensis*, *Lippi arugosa*, *Lantana camara*, *Tephrosia vogelii*; des couches d'inflorescences ou de racines pilées de ces plantes sont intercalées dans le grenier

rempli de céréales (Seignobos et al., 1996 ; Taponjou et al., 2002). Des extraits de 3 espèces de *Cupressus* (*C. macrocarpa*, *C. sempervirens* et *C. arizonica*), de même que les huiles de *Chenopodium ambrosioides* ont révélé des propriétés larvicides et répulsives contre le moustique *Anopheles gambiae* au Cameroun et expliqueraient leur utilisation contre les insectes ravageurs des stocks (Nguemkam, 2013; Bigoga et al., 2013). Ces techniques traditionnelles sont moins coûteuses, mais on n'a en général pas de données sur la toxicité des plantes ou autres produits naturels utilisés par les populations locales pour protéger leurs denrées stockées. Ces méthodes traditionnelles nécessitant d'importantes quantités de matériel biologique, sont méconnues et peu vulgarisées, par conséquent des études seraient nécessaires pour vérifier leur efficacité, les généraliser et si possible les améliorer ou en extraire le principe actif.

La lutte biologique

Elle consiste à combattre les insectes ravageurs en utilisant leurs ennemis naturels dont les parasitoïdes, les bactéries, les virus, les champignons, les protozoaires, les nématodes (Kumar, 1991). En Afrique du Sud, le charançon de l'eucalyptus (*Gonipterus scutellatus*) a été éliminé au moyen de l'introduction d'un parasite des œufs, *Patasson niteus*, en provenance de l'Australie du Sud (Kumar, 1991). Au Cameroun, elle est présente par des formulations comme le BATIK à base de *Bacillus thuringiensis* (MINADER, 2013). *Bacillus thuringiensis* est une bactérie ubiquiste gram positive qui produit des cristaux parasporaux lors de la phase stationnaire de son cycle de développement. Ces cristaux sont des endotoxines et ont des activités larvicides/insecticides contre des Coléoptères, Lépidoptères et Diptères d'où son utilisation comme pesticides naturels (Schnepf et al., 1998). On note également le développement de plusieurs biopesticides (*Clonostachys*, *Trichoderma*, *Pseudomonas*) par plusieurs équipes de recherche au Cameroun pour

protéger les plantes (Hoopen et al., 2014). Les essais en champs de lutte biologique sont très rares et la plupart des résultats se sont limités à des essais de Laboratoire au Cameroun. De par sa non dangerosité pour le consommateur et sa spécificité aux espèces visées, la lutte biologique gagnerait à être vulgarisée et implémentée au Cameroun. Cependant, elle nécessite une parfaite connaissance de la biologie et l'écologie du ravageur et son ennemi naturel ainsi que leur comportement en absence de l'espèce visée. Certains ennemis naturels ne s'attaquent également qu'à des stades précis de développement

La lutte physique

La lutte physique signifie l'élimination du ravageur ou la détérioration physique de l'environnement de manière à le rendre inhospitalier ou inaccessible pour le ravageur (Kumar, 1991). Elle peut consister à l'exposition des populations d'insectes ou/et des céréales aux radiations, aux températures extrêmes ou à une modification de la teneur en oxygène/dioxyde de carbone de leur biotope (Kumar, 1991; Lienard et Seck, 1994). La technique la plus utilisée consiste en une irradiation à forte dose pour tuer tous les stades de développement de l'insecte et des doses plus faibles pour les stériliser (Lienard et Seck, 1994). Malgré le fait que cette lutte ne présente pas de danger considérable pour les consommateurs, elle est très peu adoptée par les céréaliculteurs Camerounais à cause de son coût élevé, sa complexité et son impact sur les propriétés organoleptiques des céréales. Elles ont aussi l'inconvénient de provoquer une déshydratation irréversible du grain, rendant impossible son utilisation comme semence. On observe néanmoins que les populations locales exposent les grains de céréale infestés au soleil (insolation) dans toutes les régions Camerounaises. Dans la région de l'Ouest, l'enfumage est très pratiqué ; ainsi les céréales sont suspendues au-dessus du foyer dont la fumée et la chaleur éloignent ces prédateurs.

La lutte chimique

C'est la méthode de lutte la plus utilisée au Cameroun lors de la conservation des céréales récoltées (Tamgno et Ngamo, 2013). La lutte chimique consiste en l'utilisation de produits chimiques appelés pesticides comme les insecticides contre les insectes (Ferrer, 2003). Les insecticides utilisés au Cameroun dans la protection des denrées stockées sont des formulations contenant des substances actives à l'instar de: cyperméthrine (Cigogne), deltaméthrine (Malagrain), imidaclopride (Attakan), pyrimiphos-méthyl (Actalm super), phosphore d'aluminium (Aladin) (MINADER, 2013). La plupart de ces insecticides nécessite des équipements de protection individuelle pour leur application; par conséquent ils doivent être appliqués par des professionnels ou du personnel entraîné et loin des cours d'eau (MINADER, 2013). L'imidaclopride est un néonicotinoïde très utilisé en agriculture au Cameroun, cet insecticide a été interdit en France, en Allemagne, en Italie, en Suisse pour sa toxicité sur les abeilles, les oiseaux et autres vies sauvages (MINADER, 2013; Vijver et Van den Brink, 2014). Les pyrethrinoïdes (deltaméthrine, perméthrine), classe d'insecticides la plus utilisée au Cameroun (Agriculture et Santé) fait face à des résistances multiples chez les ravageurs majeurs des stocks de céréales (Zhu et al., 2010; Schleier et al., 2011; Shi et al., 2012). Une surexpression des enzymes de détoxification telles que le cytochrome P450, Glutathion S-transférase et des mutations dans les canaux sodium voltage dépendant entraînent des résistances aux pyrethrinoïdes chez les ravageurs des céréales dont les genres *Tribolium* et *Sitophilus* (Zhu et al., 2010; Shi et al., 2012). Actuellement, aucun groupe parmi les organophosphorés, organochlorés, néonicotinoïdes, les carbamates n'échappe à la résistance aux insectes et les espèces du genre *Sitophilus* sont parmi celles qui sont le plus citées dans la résistance aux pesticides (Odeyemi et al., 2010; Guèye et al., 2011). Les insecticides sont également impliqués dans la destruction

de la faune sauvage puisque leur action n'est pas sélective (Pimentel, 2005). L'usage de certains insecticides en agriculture peut aussi compromettre la lutte contre les insectes vecteurs de pathologies humaines (paludisme) en favorisant l'émergence de vecteurs résistants aux insecticides (Brévault et al., 2002; Antonio-Nkondjio et al., 2011; Bigoga et al., 2012). L'application des insecticides doit être renouvelée, entraînant des dépenses répétitives. La rémanence, la non biodégradabilité et la bioamplification de certains insecticides sont de véritables problèmes pour l'environnement non sans conséquences sur la santé humaine du fait des résidus chimiques retrouvés dans nos aliments (Ferrer, 2003; Pimentel, 2005; Meeker et al., 2008; Zeinab et al., 2011; Mehrpour et al., 2014; Zendehdel et al., 2014). Au regard de ce qui précède, il devient plus que nécessaire d'associer la lutte chimique à d'autres techniques qui seront à même de confiner les dégâts des insectes dans des limites économiquement supportables, tout en assurant un environnement moins exposé aux pollutions chimiques.

LES INSECTES TRANSGENIQUES/ MUTANTS POUR COMPLEMENTER LES MOYENS ACTUELS DE LUTTE

Un insecte transgénique peut être défini comme un insecte dont le génome a artificiellement incorporé un gène d'une autre espèce (Gasser et Fraley, 1992). En revanche, un insecte mutant ne comporte pas de matériel génétique d'origine extérieure mais des modifications de son génome qui peuvent être des changements de place de segments chromosomiques, des pertes de petits segments d'ADN, des changements ponctuels dans la séquence de la molécule d'ADN (Benedict 2014).

Les techniques de manipulation génétique chez les insectes ont fait de grands progrès en laboratoire au cours des dernières décennies, notamment grâce à l'étude de la mouche drosophile (Horn et al., 2003). La technique de transgénèse la plus employée initialement était la micro-injection dans les

embryons de séquences d'ADN désirées, assemblées par clonage moléculaire au sein d'un transposon modifié (les transposons sont des éléments génétiques naturels capables de s'intégrer dans les génomes). Le transposon synthétique ainsi inséré dans l'ADN de l'insecte reste stable car « désarmé » (privé du gène codant sa transposase spécifique, enzyme catalysant son excision / ré-insertion dans le génome). On en détecte la présence grâce à un gène traceur, conférant à l'insecte qui le porte une coloration particulière ou une fluorescence dans certains tissus (Nolan et al., 2002; Jiang et al., 2014). Une technique de transgénèse plus récente repose sur l'intégration préalable d'une séquence spécifique d'ADN qualifiée de « site d'amarrage », dans laquelle toute nouvelle construction génétique d'intérêt pourra être intégrée à *posteriori* avec l'aide d'une enzyme spécifique, l'intégrase (Meredith et al., 2013). La technique d'amarrage de gènes présente de nombreux avantages, notamment que le site d'insertion du nouveau transgène est connu à l'avance et bien caractérisé pour ne pas handicaper de manière notable l'insecte porteur comme ce serait le cas d'une insertion à l'intérieur d'un gène important (Meredith et al., 2013).

Ces techniques de transgénèse ont permis de faire exprimer dans les organismes modèles de nombreuses protéines d'intérêt spécifique d'un tissu et/ou d'un stade de développement donné, en fonction des promoteurs utilisés (Jiang et al., 2014; Meredith et al., 2013). En permettant de manipuler l'expression de gènes naturels pour en observer les conséquences, elles ont abouti à d'énormes avancées dans la compréhension de nombreux aspects de la biologie (physiologie, développement, système immunitaire...), souvent extrapolables de l'insecte à l'homme, d'où d'énormes progrès en médecine et la naissance des paradigmes (Otero, 2011). Par ailleurs, la transgénèse peut permettre d'exprimer des facteurs conférant une stérilité conditionnelle ou sexe-spécifique à l'insecte transgénique, d'où son intérêt pour améliorer la technique de l'insecte stérile pour

la lutte contre les insectes ravageurs ou vecteurs de maladies (Meredith et al., 2013). Il est à noter qu'une stérilisation par irradiation handicape les mâles relâchés tandis qu'une stérilité obtenue par voie génétique peut laisser les mâles ainsi modifiés indemnes de tout autre défaut susceptible de diminuer leur capacité à entrer en compétition avec les mâles sauvages (Marois et al., 2012; Meredith et al., 2013). Les moustiques vecteurs de maladie (en particulier *Aedes* vecteur de la dengue, de la fièvre jaune, de chikungunya, de zika) font actuellement l'objet de recherches et d'interventions en ce sens (Carvalho et al., 2014), et peuvent servir de modèle pour adapter ces technologies aux insectes ravageurs des cultures et des récoltes.

Très récemment, les techniques de transgénèse ont permis l'expression au sein des insectes eux-mêmes d'outils moléculaires permettant de mutagéniser des gènes choisis (Jinek et al., 2012; Smidler et al., 2013; Beumer et Carroll, 2014). Cette possibilité ouvre des voies prometteuses pour l'obtention d'insectes porteurs de mutations rendant, au choix, les mâles ou les femelles stériles. Les transgènes utilisés initialement pour obtenir ces lignées mutantes peuvent être éliminés par contre-sélection (Marois et al., 2012). A la différence des insectes stériles transgéniques, l'insecte génétiquement modifié obtenu sera donc mutant mais non transgénique (non porteur de séquences d'ADN étrangères à son espèce) ce qui permettra d'éviter d'introduire dans la nature des individus porteurs de séquences d'ADN étranger à sa propre espèce. Ces perspectives encore théoriques aboutiront indubitablement à des essais d'intervention dans un futur assez proche.

La modification génétique des insectes, comme celle d'autres organismes, soulève des questions de sécurité et des débats d'ordre éthique. Il serait théoriquement possible de faire exprimer à un organisme génétiquement modifié des gènes d'origine extérieure dont l'expression rendrait cet organisme dangereux (toxines, capacité accrue à transmettre une maladie). Par ailleurs, les éventuelles

conséquences inattendues de l'expression d'un transgène désiré doivent être soigneusement examinées. Comme toute technologie, l'utilisation de la transgénèse en lutte contre les insectes vecteurs / ravageurs doit faire l'objet d'une évaluation préalable exhaustive des risques potentiels, pour toute nouvelle construction génétique considérée, et être strictement encadrée par les autorités compétentes (ministères de l'agriculture, autorités de santé publique, comités d'éthique). A cet effet, l'Organisation Mondiale de la Santé a récemment émis une série de recommandations encadrant l'utilisation de moustiques transgéniques pour la lutte contre les maladies infectieuses (WHO, 2014). Des précautions similaires devront prévaloir pour l'utilisation d'insectes génétiquement modifiés en agriculture. Une controverse intense sur l'utilisation de plantes génétiquement modifiées en agriculture fait rage dans les pays du Nord. Des compagnies multinationales telles que Monsanto sont accusées de commercialiser des semences génétiquement modifiées conçues plus pour aliéner les agriculteurs à un système technologique et économique que pour un réel avantage agronomique (Zacune, 2012). Face à ce constat, il est souhaitable que la mise au point et l'implémentation de techniques de lutte contre les insectes ravageurs ou vecteurs faisant intervenir des souches d'insectes génétiquement modifiées reste sous le contrôle du secteur public et académique.

Les insectes génétiquement modifiés ont été utilisés avec succès contre le moustique *Aedes* (*Aedes aegypti*), la mouche drosophile (*Ceratitis capitata*), la mouche tsèsè (*Glossina austeni*), la lucilie bouchère, *Cochliomyia hominivorax* (Harris et al., 2011; Harris et al., 2012). Les insectes transgéniques/mutants ont l'avantage, contrairement aux méthodes physiques, de ne pas impacter sur le potentiel de germination, les propriétés nutritionnelles et organoleptiques des céréales. Les atouts qu'ils ont par rapport aux méthodes chimiques sont : pas de pollution de

l'environnement ; ne ciblent qu'une espèce sans dommage collatéraux sur des insectes auxiliaires tels que les abeilles ; ne nécessitent pas une implication totale de la communauté ; sont durables. De plus ces insectes génétiquement modifiés peuvent améliorer la

compréhension de la biologie de l'insecte dont le développement post embryonnaire, la physiologie, le contrôle hormonal, les interactions hôte-parasite qui sont indispensables pour la réussite des méthodes de lutte.

Tableau 1 : Insectes impliqués dans les pertes post-récolte des céréales au Cameroun.

| Ordres | Familles | Genres/ espèces | Céréales | Références |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Coléoptères | Ténébrionidés | <i>T. castaneum</i> | Maïs, mil, sorgho | Tamgno et Ngamo, 2013 Mallamaire, 1965 Tamgno et Tinkeu, 2014 |
| | | <i>T. confusum</i> | Mil, maïs | |
| | | <i>C. ferrugineus</i> | Maïs, sorgho | |
| | Curculionidés | <i>S. oryzae</i> | Riz, maïs, mil, sorgho | |
| | | <i>S. zeamais</i> | Maïs | |
| <i>S. granarius</i> | | Blé | | |
| Chrysomelidés | <i>Acanthoscelides</i> sp | Riz, maïs | | |
| Bostrychidés | <i>R. dominica</i> | Sorgho, maïs | | |
| Lépidoptères | Momphidés | <i>P. simplex</i> | Maïs, sorgho, mil | Tamgno et Ngamo, 2013 |
| | Géléchiidés | <i>S. cerealella</i> | Mil, maïs, riz | Tamgno et Ngamo, 2013 |
| | Pyralidés | <i>C. cephalonica</i> | Riz, mil, sorgho | Seignobos et al., 1996 |
| | | <i>Ephestia</i> sp. | Riz, mil, maïs, sorgho | Tamgno et Ngamo, 2013 |
| | | <i>P. interpunctella</i> | Blé, riz, maïs | Gilligan et Passoa 2014 |
| Hémiptères | <i>Cicadellidae</i> | <i>Nephottetis</i> sp | Riz | Sadou et al., 2008 |
| Orthoptères | | <i>P. americana</i> | Maïs, blé, mil | Rageau, 1953 |
| Isoptères | <i>Isoptères</i> | | | Seignobos et al., 1996 |

Tableau 2 : Avantages et limites des méthodes de lutte utilisées au Cameroun contre les insectes ravageurs des stocks.

| Méthodes de lutte | Utilisation | Avantages | Limites |
|------------------------------|-------------------|--|---|
| Quarantaine | Utilisée | Prévention | Très affectée par les compétences et les structures |
| Lutte chimique | Très utilisée | Très disponible Données sur la toxicité | Pollution, empoisonnement, résistance, destruction des écosystèmes |
| Lutte traditionnelle | Utilisée | Moins coûteuse | Pas de données de toxicité nécessité de grande quantité de matériel biologique |
| Lutte physique (irradiation) | Peu utilisée | Pas de danger pour le consommateur | Stérilisation de la semence, propriétés organoleptiques affectées |
| Lutte Biologique | Rarement utilisée | Spécifique | Parfaite connaissance de l'ennemi et du ravageur |

SYNTHESE

Il ressort de cette revue que les genres *Tribolium* et *Sitophilus* sont des ravageurs majeurs des stocks de céréales au Cameroun et par conséquent, représentent d'excellents candidats pour des techniques de transgénèse ou de mutagenèse afin de diminuer leur impact (Ngamo et Hance, 2007; Tamgno et Ngamo, 2013). De plus, le génome de *Tribolium castaneum*, espèce facile à manipuler génétiquement, a déjà été entièrement séquencé et celui de *Sitophilus* est en cours (Brown et al., 2009; Kim et al., 2009). Des études doivent être faites pour identifier d'autres ravageurs secondaires ainsi que leur implication et leur distribution au Cameroun. A côté de la quarantaine et des méthodes traditionnelles, la méthode chimique via les insecticides est la plus utilisée contre les insectes ravageurs des stocks des céréales (Taponjou et al., 2002; Ngamo et al., 2007b; Goudoum et al., 2010). Les autorités Camerounaises doivent être plus strictes dans le contrôle phytosanitaire en se dotant des compétences et structures pour un contrôle efficient et efficace dans nos aéroports et ports étant donné que la plupart des ravageurs sont d'origine exotique. Les méthodes traditionnelles doivent être recensées et améliorées auprès des utilisateurs puisque étant les moins coûteuses. La méthode chimique entraîne des pollutions et des empoisonnements à travers leur non biodégradabilité, la persistance des produits chimiques/substances dans l'environnement et leur accumulation dans les chaînes alimentaires, jusqu'au lait maternel avec des impacts de mieux en mieux établis au moins sur la fertilité masculine, voire le cancer. (Pimentel, 2005; Meeker et al., 2008; Zeinab et al., 2011; Mehrpour et al., 2014; Zendeudel et al., 2014). Mesnage et al. (2014) attire l'attention des législateurs sur le fait que les normes ne doivent plus se baser sur le principe actif mais sur la formulation globale

des pesticides qui peut être 1000 fois plus toxique pour les tissus humains que le seul principe actif utilisé. De plus, parmi les insecticides homologués au Cameroun, certains font l'objet de polémique dans d'autres pays, c'est le cas de l'imidaclopride très utilisé au Cameroun et qui fait l'objet d'interdiction dans certains pays d'Europe pour sa toxicité sur les abeilles, les oiseaux et autres espèces sauvages. D'ailleurs, plusieurs pays dont les Etats-Unis et la Hollande sont en train d'en réévaluer la toxicité (Vijver et Van den Brink, 2014). Le Cameroun devrait suivre le pas et suspendre temporairement cet insecticide. Des résistances aux pyréthrinoides largement utilisés au Cameroun en Agriculture et en Santé ont été signalées ; l'utilisation intensive de ces insecticides en Agriculture entraîne également des résistances multiples des vecteurs de maladie à ces insecticides (Ndjemai et al., 2008; Zhu et al., 2010; Antonio-Nkondjio et al., 2011; Bigoga et al., 2012; Shi et al., 2012; Nkya et al., 2014). De plus, des extraits de *Clausena anisata* (*Rutaceae*) et *Plectranthus glandulosus* (*Lamiaceae*) se sont révélés plus efficaces que l'Imidaclopride sur *Tribolium castaneum* (Goudoum et al., 2010). Il est donc urgent de trouver des alternatives palliant aux inconvénients des insecticides utilisés. Les insectes transgéniques/mutants pallieraient à ces effets néfastes sur la faune et la flore. La méthode la plus efficace contre ces ravageurs est une approche intégrée en prenant en compte des données sur la biologie, l'évolution et l'écologie des ravageurs ; et le développement des techniques de transgénèse nous aidera également à étudier leur biologie. Nous nous proposons donc, dans la suite de nos travaux, de modifier par transgénèse et mutagenèse *Tribolium castaneum* et *Sitophilus oryzae* afin de les utiliser entre autres dans les techniques de l'insecte stérile pour diminuer les pertes post-récolte dues aux insectes.

Conclusion

La faune ravageuse de céréales stockées est assez diversifiée au Cameroun et les genres majeurs sont *Tribolium* et *Sitophilus*. Les méthodes de lutte utilisées contre ces ravageurs sont traditionnelles, chimiques, biologiques. Chaque méthode présente des avantages et des limites et la méthode chimique est la plus utilisée. Cette dernière ayant des multiples limites aussi bien sur l'environnement que sur la santé humaine. Les insectes transgéniques et mutants seraient des alternatives pour compléter ces méthodes de lutte.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements au Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) du Cameroun pour sa collaboration, de même que le Laboratoire d'Entomologie de l'IRAD de Yaoundé et le CIRAD de Yaoundé qui ont bien voulu nous laisser consulter leurs bibliothèques.

REFERENCES

- Adjalian E, Noudogbessi J-P, Kossou D, Sohounhloue D. 2014. État et perspectives de lutte contre *Sitotroga cerealella* (Olivier, 1789), déprédateur des céréales au Bénin: synthèse bibliographique. *J. Appl. Biosci.*, **79**: 6955-6967.
- Akob CA, Ewete FK. 2011. Control of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) with local plant materials in the western highlands of Cameroon. *JCAS.*, **9**(1): 3-10.
- Antonio-Nkondjio C, Fossog TB, Ndo C, Djantio MB, Togouet ZB, Awono-Ambene P, Costantini C, Wondji SC, Ranson H. 2011. *Anopheles gambiae* distribution and insecticide resistance in the cities of Douala and Yaoundé (Cameroon): influence of urban agriculture and pollution. *Malar J.*, **10**(154): 1-13.
- Benedict MQ. 2014. *Transgenic Insects: Techniques and Applications*. CABI Biotechnology series, University of Perugia: Italy.
- Beumer KJ, Carroll D. 2014. Targeted genome engineering techniques in *Drosophila*. *Methods*, **68**(1): 29-37.
- Bigoga JD, Ndongoh DN, Awono-Ambene PH, Patchoke S, Fondjo E, Leke RGF. 2012. Pyrethroid resistance in *Anopheles gambiae* from the rubber cultivated area of Niete, South Region of Cameroon. *Acta Trop*, **124**(3): 210-214.
- Bigoga JD, Saahkem PA, Ndindeng SA, Ngondi JL, Nyegue M, Oben JE, Leke RGF. 2013. Larvicidal and Repellent Potential of *Chenopodium ambrosioides* Linn Essential Oil against *Anopheles gambiae* Giles (Diptera: Culicidae). *Open Entomol J.*, **7**(1): 16-22.
- Bonneton F. 2010. Quand *Tribolium* complète la génétique de la drosophile. *Med Sci.*, **26**(3): 297-303.
- Brévault T, Asfom P, Beyo J, Nibouche S, Vaissayre M. 2002. Assessment of *Helicoverpa armigera* resistance to pyrethroid insecticides in northern Cameroon. *Biol Wet.*, **67**(3): 641-646.
- Brown SJ, Shippy TD, Miller S, Bolognesi R, Beeman RW, Lorenzen MD, Bucher G, Wimmer EA and Klingler M. 2009. The Red Flour Beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera): A Model for Studies of Development and Pest Biology. *Cold Spring Harb. Protoc*, **10**(1101): 1-6.
- Calla B, Hall B, Hou S, Geib SM. 2014. A genomic perspective to assessing quality of mass reared SIT flies used in Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata*) eradication in California. *BMC Genomics*, **15**(98): 1-19.
- Carvalho DO, Nimmo D, Naish N, McKemey AR, Gray P, Wilke AB, Marrelli MT,

- Virginio JF, Alphey L, Capurro ML. 2014. Mass production of genetically modified *Aedes aegypti* for field releases in Brazil. *J Vis Exp.*, **83**(3579): 1-10.
- FAO. 1995. Guide de Défense des Cultures au Tchad Cultures Vivrières et Maraîchères. Projet FAO/PNUD CHD/88/001, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome; 1-414.
- FAO. 2013. Bimestriel de la représentation de la FAO au Cameroun (Mai-Juin 2013), Food and Agriculture Organization of the United Nations : Cameroon; 1-16.
- Ferrer A. 2003. Pesticide poisoning. *An Sist Sanit Navar*, **26**(1): 155-171.
- Gasser CS, Fraley RT. 1992. Transgenic crop. *Sci. Am.*, **244**: 62-69.
- Gilligan TM, Passoa SC. 2014. LepIntercept- An identification resource for intercepted Lepidoptera larvae. Identification Technology Program (ITP), Fort Collins, CO; 1-3.
- Goudoum A, Ngamo LST, Ngassoum MB, Tatsadjieu LN, Mbofung CM. 2010. *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Curculionidae) sensitivity to repetitive applications of lethal doses of imidacloprid and extracts of *Clausena anisata* (Rutaceae) and *Plectranthus glandulosus* (Lamiaceae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(4): 1242-1250.
- Guèye MT, Seck D, Wathelet J-P, Lognay G. 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **15**(1): 183-194.
- Handler AM, Allen ML, Skoda SR. 2009. Development and utilization of transgenic New World screwworm, *Cochliomyia hominivorax*. *Med Vet Entomol.*, **1**(23): 98-105.
- Harris AF, McKemey AR, Nimmo D, Curtis Z, Black I, Morgan SA, Oviedo MN, Lacroix R, Naish N, Morrison NI, Collado A, Stevenson J, Scaife S, Dafa'alla T, Fu G, Phillips C, Miles A, Raduan N, Kelly N, Beech C, Donnelly CA, Petrie WD, Alphey L. 2012. Successful suppression of a field mosquito population by sustained release of engineered male mosquitoes. *Nature Biotechnol.*, **30**(9): 828-830.
- Harris AF, Nimmo D, McKemey AR, Kelly N, Scaife S, Donnelly CA, Beech C, Petrie WD, Alphey L. 2011. Field performance of engineered male mosquitoes. *Nature Biotechnol.*, **29**(11): 1034-1037.
- Hoopen GMT, George A, Martinez A, Stirrup T, Flood J, Krauss U. 2014. Compatibility between *Clonostachys* isolates with a view to mixed inocula for biocontrol. *Mycologia.*, **102**(5): 1204-1215.
- Horn C, Offen N, Nystedt S, Hacker U, Ernst A, Wimmer. 2003. Piggy Bac-Based Insertional Mutagenesis and Enhancer Detection as a Tool for Functional Insect Genomics. *Genetics.*, **163**(2): 647-661.
- INS. 2014. Monographie des échanges transfrontaliers de marchandises au Cameroun. Rapport Institut national de la statistique : Cameroun; 10-50.
- Jiang S-Y, Vanitha J, Bai Y, Ramachandran S. 2014. A Novel Binary T-Vector with the GFP Reporter Gene for Promoter Characterization. *PLoS ONE.*, **9**(9): 1-11.
- Jinek M, Chylinski K, Fonfara I, Hauer M, Doudna JA, Charpentier E. 2012. Bacterial Immunity Guided DNA Endonuclease in Adaptive – A Programmable Dual-RNA. *Science*, **337**(6096): 816-821.
- Kim HS, Murphy T, Xia J, Caragea D, Park Y, Beeman RW, Lorenzen MD, Butcher S, Manak JR and Brown SJ. 2009. Beet le Basein 2010 : Revisions to provide comprehensive genomic information for *Tribolium castaneum*. *Nucleic Acids Res.*, **38**: 437-442.

- Kouninki H, Ngamo LST, Hance T, Ngassoum MB. 2007. Potential use of essential oils from local cameroonian plants for the control of red flour weevil *tribolium castaneum* (herbst.) (coleoptera : tenebrionidae). *AJFAND*, **7**(5):1-15.
- Kumar R. 1991. *La Lutte Contre les Insectes Ravageurs*. Karthala et CTA : Paris ; 10-311.
- Lienard V, Seck D. 1994. Revue des méthodes de lutte contre *Callobruchus maculatus* (f.) (coleoptera: .'bruchidaè), ravageur des graines de niebe (*vigna unguiculata* (l.) walp) en Afrique tropicale. *Insect Sci Applic.*, **15**(3): 301-311.
- Malaisse F. 2004. Ressources alimentaires non conventionnelles. *Tropicultura.*, **22**: 30-36.
- Mallamaire A. 1965. Les insectes nuisibles aux semences et aux denrées entreposées au Sénégal. Congrès de la protection des cultures tropicales-compte rendu des travaux. chambre de commerce de l'industrie de Marseille, France; 85-92.
- Marois E, Scali C, Soichot J, Kappler C, Levashina EA, Catteruccia F. 2012. High-throughput sorting of mosquito larvae for laboratory studies and for future vector control interventions. *Malar J*, **11**(302): 1-9.
- Meeker JD, Ravi SR, Barr DB, Russ Hauser R. 2008. Circulating estradiol in men is inversely related to urinary metabolites of non persistent insecticides. *Reprod Toxicol.*, **25**(2): 184-191.
- Mehrpour O, Karrari P, Zamani N, Tsatsakis AM, Abdollahi M. 2014. Occupational exposure to pesticides and consequences on male semen and fertility: A review. *Toxicol Lett.*, **230**(2):146-56.
- Meredith JM, Underhill A, McArthur CC, Eggleston P. 2013. Next-generation site-directed transgenesis in the malaria vector mosquito *Anopheles gambiae*: self-docking strains expressing germline-specific phiC31 integrase., *PLoS One*, **8**(3): 1-9.
- Mesnager R, Defarge N, DeVendômois JS, Séralini G-E. 2014. Major Pesticides Are More Toxic to Human Cells Than Their Declared Active Principles. *Biomed. Res. Int.*, **2014**(179691): 1-8.
- MINADER. 2009. Stratégie nationale de développement de la riziculture au Cameroun, mouture III. Ministère de l'agriculture développement rural, Cameroun, 1-21.
- MINADER. 2013. Liste des pesticides homologues au Cameroun au 31 juillet 2013. Ministère de l'agriculture développement rural-Cameroun-commission nationale d'homologation des produits phytosanitaires et de certification des appareils de traitement. Ministère de l'agriculture développement rural, Cameroun, 1-40.
- Ndjemaï HNM, Patchoké S, Atangana J, Etang J, Simard F, Bilong-Bilong CF, Reimer L, Cornel A, Lanzaro GC, Fondjo E. 2008. The distribution of insecticide resistance in *Anopheles gambiae s.l.* populations from Cameroon: an update. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **30**: 1-12.
- Ngamo LST, Goudoum A, Ngassoum MB, Mapongmetsem, Lognay G, Malaisse F et Hance T. 2007b. Chronic toxicity of essential oils of 3 local aromatic plants towards *Sitophilus zeamais* Motsch. (*Coleoptera : Curculionidae*). *Afr. J. Agric. Res.*, **2**(4): 164-167.
- Ngamo LST, Hance TH. 2007. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, **25**(4): 215-220.
- Ngamo LST, Ngassoum MB, Mapongmetsem PM, Malaisse F, Haubruge E, Lognay G, Hance T. 2007a. Current post harvest practices to avoid insect attacks on stored

- grains in Northern Cameroon. *Agr. J.*, **2**(2): 242-247.
- Nguemkam EN. 2013. Effet larvicide des extraits de trois plantes de la famille des Cupressaceae sur des larves d'*Anopheles gambiae*, vecteur principal du paludisme au Cameroun. Mémoire de Master, Faculté des Sciences, département de Biochimie, Université de Yaoundé I, p70.
- Njomaha C. 2002. Durabilité des systèmes de culture dans l'Extrême-Nord Cameroun. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun, 1-10.
- Nkya TE, Akhouayri I, Poupardin R, Batengana B, Mosha F, Magesa S, Kisinza W, David J-P. 2014. Insecticide resistance mechanisms associated with different environments in the malaria vector *Anopheles gambiae*: a case study in Tanzania. *Malar J.*, **13**(28): 1-15.
- Nolan T, Bower TM, Brown AE, Crisanti A, Catteruccia F. 2002. Piggy Bac-mediated germline transformation of the malaria mosquito *Anopheles stephensi* using there fluorescent protein dsRED as a selectable marker. *J Biol Chem.*, **277**: 8759–8762.
- Odeyemi OO, Ashamo MO, Akinkulore RO, Olatunji AA. 2010. Resistance of strains of rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) to pirimiphos methyl. 10th International Working Conference on Stored Product Protection. *Julius-Kühn-Archiv.*, **425**(1): 1-6.
- Organisation mondiale du commerce. 2007. Examen de politiques commerciales : Cameroun et Gabon. *Presse TPRB*, **288**: 72-75.
- Otero MJI. 2011. Dendritic cells (DC) and their Toll-like receptors (TLR): Vital elements at the core of all individual immune responses. On the Nobel Prize in Physiology or Medicine 2011 awarded to Bruce A. Beutler, Jules A. Hoffmann, and Ralph M. Steinman. *Cat-science*, **8**(1): 61–68.
- Pimentel D. 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United states. *Environment, Development and Sustainability*, **7**: 229–252.
- Rageau J. 1953. Les noms vernaculaires des insectes au Cameroun français. *Bul. Soc. Path. Exo.*, **46**(3): 1099-1112.
- Sadou I, Woin N, Ghogomu TR, Djonmaila KM. 2008. Inventaire des insectes ravageurs et vecteurs de la panachure jaune du riz dans les périmètres irrigués de Maga (Extrême Nord Cameroun). *Tropicultura*, **26**(2): 84-88.
- Schleier JJ, Peterson R. 2011. Pyrethrins and Pyrethroid Insecticides. *R. Soc. Che.*, **11**(3): 94-131.
- Schnepf E, Crickmore N, Vanrie J, Lereclus D, Baum J, Feitelson J, Zeigler DR, Dean DH. 1998. Bacillus thuringiensis and Its Pesticidal Crystal Proteins. *A. Soc. Mic.*, **62**(3): 775–806.
- Seignobos C, Deguine J-P, Aberlenc H-P. 1996. Les mofu et leurs insectes. *Journ. Hgric. Trad. Bota. Appl.*, **38**(2): 125-187.
- Shi H, Pei L, Gu S, Zhu S, Wang Y, Zhang Y, Li B. 2012. Glutathione S-transferase (GST) genes in the red flour beetle, *Tribolium castaneum*, and comparative analysis with five additional insects. *Genomics*, **100**: 327–335.
- Smidler AL, Terenzi O, Soichot J, Levashina EA, Marois E. 2013. Targeted mutagenesis in the malaria mosquito using TALE nucleases. *PLoS One*, **8**(8): 1-15.
- Tamgno RB, Ngamo LST. 2013. Diversity of Stored Grain Insect Pests in the Logone Valley, from Northern Cameroon to Western Chad Republic in Central Africa. *J. Agric. Sci. Technol.*, **1939**(1250): 724-731.

- Tamgno RB, Ngamo LST . 2014. Utilisation des produits dérivés du neem *Azadirachta indica* A. Juss comme alternatifs aux insecticides synthétiques pour la protection des semences de maïs et de sorgho dans la Vallée du Logone. *STD*, **15**: 1-8.
- Taponjou LA, Adler C, Bouda H, Fontem DA. 2002. Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. *J. Stored Prod. Res.*, **38**: 395-402.
- Vijver MG, Van den Brink PJ. 2014. Macro-Invertebrate Decline in Surface Water Polluted With Imidacloprid : A Rebuttal and Some New Analyses. *PLoS ONE.*, **9**(2): 1-9.
- Waongo A, Yamkoulga M, Dabire-Binso CL, BA MN, Sanon A. 2013. Conservation post-récolte des céréales en zone sud-soudanienne du Burkina Faso : Perception paysanne et évaluation des stocks. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(3): 1157-1167.
- WHO. 2014. *Guidance Framework for Testing of Genetically Modified Mosquitoes*. World Health Organization: Geneva; 1-159.
- Zacune J. 2012. *Combattre Monsanto: Résistance Populaire au Pouvoir de l'Industrie Agroalimentaire à l'Heure*. Ronnie Hal Edition : Paris ; 1-36.
- Zeinab HM, Al-Targi , Refaat G, Abou El Ela, El-Dressi AY. 2011. Organochlorine pesticide residues in human breast milk in El-Gabal Al-Akhdar , Libya. *Int. Conf. L. Sci. Technol.*, **3**: 1-4.
- Zendehdel R, Tayefeh-Rahimian R, Ali Kabir A. 2014. Chronic Exposure to Chlorophenol Related Compounds in the Pesticide Production Workplace and Lung Cancer: A Meta Analysis. *A. Pac. J. Cancer Prev.*, **15**: 5149-5153.
- Zhu F, Parthasarathya R, Bai H, Woithe K, Kaussmann M, Nauen R, Harrison AD, and Palli RS. 2010. A brain-specific cytochrome P450 responsible for the majority of deltamethrin resistance in the QTC279 strain of *Tribolium castaneum*. *PNAS.*, **107**(19): 8557–8562.