

Utilisation des composés allelochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides

Jacques Auger, Sébastien Dugravot, Armelle Naudin, Ahmed Abo-Ghalia, Dominique Pierre et Eric Thibout

IRBI University F Rabelais, Faculty of Sciences and Technique, 37200 Tours, France - auger@rabelais.univ-tours.fr

Résumé: Le bromure de méthyle, le fumigant le plus largement utilisé, est un des facteurs importants de la réduction de la couche d'ozone. Son interdiction d'utilisation est prévue pour 2005. Une alternative serait l'emploi de fumigants naturels issus de plantes. Les espèces du genre *Allium* (poireau, oignon, ail) présentent des propriétés insecticides et fongicides bien connues. Elles sont utilisées en cultures associées et leurs composés allelochimiques soufrés présentent des propriétés répulsives et des effets anti-appétents vis à vis des insectes. Les propriétés des composés volatils des *Allium* (les thiosulfonates, R-S-S-O-R' ; R,R' = Me, Pr, Al) ont été évaluées sur des insectes des denrées stockées et comparées à celles de leurs produits de dégradation (les disulfures) déjà testés et avec celles d'un fumigant commercial de synthèse. Un disulfure présent en faible quantité chez les *Allium* a aussi été évalué sur *Tineola bisselliella*. Le disulfure de diméthyle a une LC50 environ 10 fois plus faible que le disulfure correspondant. Les thiosulfonates ont été testés sur *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *S. granarius*, *Ephesia kuehniella* and *Plodia interpunctella*. Les thiosulfonates de diméthyle et de diallyle apparaissent plus toxiques que les disulfures sur tous les insectes testés. Ils ont une LC50 (24h) comprise entre 0.02 et 0.25 mg/l. Ils montrent même une activité insecticide plus élevée que le bromure de méthyle. Ceci suggère que les thiosulfonates pourraient être utilisés pour le contrôle des ravageurs des denrées stockées, spécialement en protection intégrée puisque ce sont des composés labiles rapidement dégradables.

Mots clefs: disulfures, thiosulfonates, insecticides, fumigation, bromure de méthyle

Potential of *Allium* allelochemicals for safe insect control

Abstract: Methyl bromide, the most widely used fumigant, is responsible for 10% of all the factors causing the depletion of the ozone layer. Its deregistration is scheduled for 2005. An alternative strategy is the use of natural fumigants of plant origin. For centuries, *Allium* species (garlic, onion, leek) are used in inter-cropping as they show well-known effects on many polyphagous insects and fungi. They produce characteristic sulfur allelochemicals with repellent and antifeedant effects against insects. *Allium* volatiles (thiosulfonates, R-S-SO-R' ; R,R' = Me, Pr, Al) were evaluated as insecticides against stored products pests comparatively with their degradation com-

pounds (disulfides) already tested and with synthetic commercial fumigants. An *Allium* minor diselenide was also evaluated. The LC50 of this dimethyldiselenide seemed 10 times lower than the LC50 of the corresponding disulfures on *Tineolla bisselliella*. Thiosulfinates were tested on *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus granarius*, *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella*. Me and Al thiosulfinates appeared to be more toxic than disulfides to all the insects tested. Their LC50 (24h) varied between 0.02 to 0.25 mg per liter. Thiosulfinates showed an insecticide activity stronger than methyl bromide itself. It is thus suggested that thiosulfinates could be used for controlling stored products pests, specially in Integrated Control as they are very labile compounds rapidly degraded.

Keywords: disulfides, thiosulfinates, insecticides, fumigation, methyl bromide.

Introduction

Les composés secondaires sont souvent considérés comme étant un moyen de défense de la plante productrice contre divers organismes comme les pathogènes et les ravageurs (Fraenkel, 1959). Ces composés sont très nombreux et variés, et certains sont largement distribués, comme les alcaloïdes, les terpènes et les tanins, tandis que d'autres ont une répartition plus restreinte comme les composés soufrés présents notamment chez les *Allium*.

Dans le genre *Allium* (Liliaceae), on trouve principalement des acides aminés soufrés non protéiques, les alk(en)ylcystéine sulfoxides. Leurs dérivés dipeptidiques de l'acide glutamique sont également présents en grande quantité, leur proportion pouvant atteindre 5 % du poids sec (Lancaster *et al.*, 1988). Ces alk(en)ylcystéine sulfoxides sont au nombre de quatre (Granroth, 1970) : la S-méthyl-L-cystéine sulfoxide (MeCSO), présente en faible proportion dans tous les *Allium* cultivés mais prépondérante chez certaines espèces sauvages et ornementales, la S-propyl-L-cystéine sulfoxide (PrCSO), présente surtout chez le poireau *Allium porrum*, la S-1-propényl-L-cystéine sulfoxide (PeCSO), prépondérante chez l'oignon *Allium cepa*, et la S-allyl-L-cystéine sulfoxide (AlCSO) ou alliine, prépondérante chez l'ail *Allium sativum*. Les proportions de ces 4 composés varient non seulement d'une espèce à l'autre (Freeman, 1975), mais également à l'intérieur d'une espèce selon l'organe, la variété, le stade de développement et les conditions environnementales considérés (Boscher *et al.*, 1995).

Ces dérivés de la cystéine sont très spécifiques des *Allium* puisqu'il n'en a été trouvé qu'en petite quantité dans d'autres monocotylédones, notamment des Liliacées (Akashi *et al.*, 1975).

Chez les *Allium*, les dipeptides sont stockés dans le cytoplasme des cellules (Lancaster et Collin, 1981) et libérés sous l'influence de la α -glutamylpeptidase (Austin et Schwimmer, 1970).

La plupart des activités pesticides liées aux *Allium* sont cependant dues à des

substances volatiles dérivées de ces acides aminés. Celles-ci sont émises lors de la destruction des cellules. Les acides aminés précurseurs sont alors mis en présence d'une enzyme, l'alliinase ou alliinylsulfinate lyase (EC 4.4.1.4) (Stoll et Seebeck, 1949), présente dans les vacuoles (Lancaster et Collin, 1981), qui provoque, après la coupure de la liaison C-S (Kupiecki et Virtanen, 1960), la synthèse de toute une série de composés soufrés volatils (Schwimmer et Friedman, 1972 ; Ferary et Auger, 1996 ; Ferary et al., 1996 ; Jaillais et al., 1999). Cette enzyme est absente chez les autres Liliaceae (Tsuno, 1958) mais existe par exemple chez les Crucifères (Mazelis, 1963) et chez des Légumineuses (Schwimmer et Kjaer, 1960 ; Mazelis et Fowden, 1973).

Cette réaction conduit à la formation d'acide sulfénique dont les molécules se réarrangent deux à deux pour former des thiosulfonates (Ti) (Cavallito et Bailey, 1944; Stoll et Seebeck, 1949) symétriques ou mixtes selon les précurseurs présents. Dans le cas du PeCSO, il y a formation essentiellement d'oxyde de propanethial responsable de l'effet lacrymogène de l'oignon (Virtanen et Spare, 1961).

Les Ti, eux-mêmes assez instables excepté en solution aqueuse et à l'état gazeux, n'ont été mis en évidence que récemment (Auger et Thibout, 1981 ; Auger et al., 1990 ; Ferary et al., 1998). Le thiosulfinate de diallyle ou allicine (TiAl_2) donnera ainsi 66 % de disulfure (DS), 14 % de sulfure (S) et 9 % de trisulfure (TS), des thiosulfonates (To), des vinylthiines et de l'ajoène en proportions variables selon les conditions de dégradation (Block et al., 1984). A cette chimie secondaire soufrée est associée une chimie secondaire du sélénium (Se) beaucoup moins explorée (1000 à 10000 fois moins abondant) où le sélénium se substitue au soufre dans la plupart de ses composés aussi bien précurseurs que volatils comme les diséléniures (DSe) (McSheehy et al., 2000).

Ce sont, par ordre de fréquence, les DS, les TS et les Ti dont les activités biologiques ont été les plus étudiées car en fait les DS et TS sont mis en évidence en premier lieu lorsqu'on utilise les méthodes d'analyse classiques (Arnault et al., 2000).

Plusieurs études réalisées sur divers ordres d'insectes ont montré la toxicité de ces composés. Mais à côté des effets négatifs des composés soufrés des *Allium* sur plusieurs insectes, souvent des généralistes ou des insectes non inféodés aux *Allium*, ces composés peuvent également avoir des effets positifs sur les insectes spécialistes se développant aux dépens des *Allium*. Plusieurs travaux sur deux des principaux insectes ravageurs des cultures d'oignon et de poireau, la mouche de l'oignon, *Delia antiqua* et la teigne du poireau, *Acrolepiopsis assectella*, ont étudié les comportements locomoteurs et particulièrement l'attraction de ces deux insectes par les composés soufrés. Ces études ouvrent la voie à l'utilisation efficace de pièges pour protéger les cultures.

Chez *A. assectella*, 7 composés soufrés des *Allium* ont été testés. A l'exception du disulfure de diallyle (DSAl_2) peu attractif, le disulfure de dipropyle (DSPr_2), disulfure de diméthyle (DSMe_2), le thiosulfonate de dipropyle (TOPr_2) et thiosulfonate de diméthyle (TOMe_2) sont attractifs pour les femelles comme pour les mâles, mais ce sont le thiosulfinate de diméthyle (TiMe_2) et surtout le thiosulfinate de dipropyle

(TiPr₂) qui sont les plus attractifs (Lecomte et Thibout, 1981 ; Thibout et al., 1982). La teigne du poireau est donc essentiellement attirée par les composés volatils réellement émis par leur plante-hôte.

Chez *D. antiqua*, les études à l'aide de pièges se sont restreintes à l'effet du DSPr₂. A la différence des mouches japonaises, celles d'Europe et d'Amérique du nord sont attirées par ce composé (Matsumoto, 1970 ; Ishikawa et al., 1981 ; Weston et Miller, 1985 ; Judd et Borden, 1991). D'autres mouches, telles *Phormia regina* et plusieurs espèces de *Lucilia* sont aussi attirées par ces pièges (Matsumoto, 1970).

Signalons enfin les effets des Ti et des DS sur le comportement locomoteur de l'hyménoptère parasitoïde de la teigne du poireau *Diadromus pulchellus*. Cet insecte est surtout sensible au DSPr₂ qui est émis en quantité par les fèces de son hôte (Lecomte et Thibout, 1984 ; Auger et al., 1989b).

Dans cette étude les composés soufrés des *Allium* ont été testés sur des insectes ravageurs des denrées stockées, coléoptères et lépidoptères, et sur un ravageur des vêtements et des textiles, la mite, *Tineola bisselliella*.

Afin d'analyser si l'emploi de telles substances en tant que substitut du bromure de méthyle est compatible avec la lutte biologique contre les insectes des denrées stockées, nous avons également testé l'influence de ces composés sur des hyménoptères parasitoïdes, ennemis naturels de ces ravageurs, notamment *Dinarmus basalis* qui se développe aux dépens des ravageurs *Callosobruchus maculatus* et *Bruchidius atrolineatus*.

Matériel et méthode

Elevage des insectes. Tous les insectes, âgés d'une semaine, sont élevés avec une photopériode L D : 16-8 et une humidité relative de 75% +/- 10%. *Sitophilus orizae*, *Sitophilus granarius*, *Ephestia kuehniella* et *Plodia interpunctella* sont placés à une thermopériode de 25°C-17°C synchrone à la photopériode. *S. orizae* est élevé sur du blé, *S. granarius* sur du maïs, *E. kuehniella* sur la farine de blé, et *P. interpunctella* sur du maïs broyé additionné de glycérol. Les coléoptères bruchidae *C. maculatus* et *B. atrolineatus* ainsi que leur hyménoptère parasitoïde *D. basalis* sont élevés sur le niébé (*Vigna unguiculata*) à une température constante de 30°C . La mite *T. bisselliella* est élevée sur des peaux de lapin à la température constante de 22.5°C.

Composés utilisés. Le bromure de méthyle (BrMe), le DSMe₂, le DSAI₂ et le disélénure de diméthyle (DSeMe₂) proviennent de chez Aldrich. Le thiosulfinate de diallyle (TiAl₂) et le TiMe₂ sont synthétisés au laboratoire avant utilisation. L'extrait d'ail (Gar Vitan) à teneur mesurée de 0.3mg/ml d'allicine est fourni par Sucaf Pharma (Israël).

Tests de fumigation. Les chambres de fumigation sont des cristallisoirs en verre de 12 litres scellés, étanches. Les composés sont introduits dans l'enceinte sous forme

liquide et sont déposés sur un papier filtre Whatman. Ils diffusent alors sous forme gazeuse à l'intérieur du cristalliseur. L'exposition des insectes aux composés dure 24 heures. Les CL 50, déterminées par la méthode des Probits, un jour après, sont exprimées en milligramme de fumigant par litre d'air.

Résultats

Le tableau 1 montre que les insectes utilisés dans nos expériences sont tous sensibles aux composés testés. Les CL 50 varient de 0.02 mg/l (*E. kuehniella* en présence de TiAl₂ et de DSAI₂) à 1.23 mg/l (*S. orizae* en présence de DSMe₂).

Tableau 1. CL 50 (exprimées en mg/l) pour 5 espèces d'insectes adultes des denrées stockées après une exposition de 24h aux thiosulfates (Ti) et disulfures (DS) de diméthyle (Me₂), dialyle (Al₂) et au bromure de méthyle (BrMe).

Insectes	Fumigants				
	TiMe ₂	TiAl ₂	DSMe ₂	DSAl ₂	BrMe
<i>Ephestia kuehniella</i>	0.04	0.02	0.17	0.02	-
<i>Plodia interpunctella</i>	0.02	-	-	-	-
<i>Sitophilus granarius</i>	0.14	-	-	-	-
<i>Sitophilus orizae</i>	0.19	-	1.23	-	1.05
<i>Callosobruchus maculatus</i>	0.25	0.16	0.65	0.40	-

Toutefois les insectes présentent des différences de sensibilité en fonction de l'espèce et du composé considéré. Il semble que les deux espèces de lépidoptères *E. kuehniella* et *P. interpunctella* soient les plus sensibles notamment au TiMe₂. Quel que soit le composé testé, les trois espèces de coléoptères (*S. granarius*, *S. orizae*, *C. maculatus*) ont des CL 50 toujours supérieures à celle des lépidoptères.

Les CL 50 des Ti sont comparables pour une même espèce, par exemple chez *E. kuehniella*, elle est de 0.02 mg/l en présence TiAl₂ et de 0.04 mg/l en présence de TiMe₂. Chez *C. maculatus* la CL 50 est de 0.25 mg/l avec le TiMe₂ et de 0.16 mg/l avec le TiAl₂. Les Ti apparaissent comme étant plus toxiques que les DS et même que le BrMe pour une même espèce.

Le tableau 2 montre la sensibilité de deux espèces de coléoptères ravageur de denrées stockées et notamment des graines de niébé et de leur parasitoïde *D. basalis* vis à vis du DSMe₂ et du DSAI₂ ainsi que d'un extrait d'ail.

Tous les composés testés sont toxiques vis à vis des différents stades de développement des insectes étudiés et les CL 50 varient de 0.17 mg/l (pour les œufs de *C. maculatus*) à 2.04 mg/l (pour les larves L₄ de *C. maculatus*).

Tableau 2. CL 50 (exprimées en mg/l) chez deux espèces de ravageurs des denrées stockées *C. maculatus*, *B. atrolineatus* et leur parasitoïde *D. basalis* pour une exposition de 24h aux disulfures (DS) de diméthyle (Me₂), diallyle (Al₂) et au TiAl₂ présent dans un extrait d'ail.

Insectes		Fumigants		
		DSMe ₂	DSAl ₂	Extrait d'ail
<i>Callosobruchus maculatus</i>	Adultes	0.65	0.40	0.37
	Larves L4	2.04	-	-
	Oeufs	0.17	-	-
<i>Bruchidus atrolineatus</i>	Adultes	0.23	-	-
	Larves L4	2.0	-	-
<i>Dinarmus basalis</i>	Adultes	0.31	0.35	0.14
	Larves L4	1.58	-	-

Il apparaît clairement que les stades adultes sont plus sensibles que les stades larvaires pour les trois espèces considérées.

Les deux composés purs semblent par ailleurs moins efficaces que l'extrait d'ail, correspondant à une dose contrôlée en allicine, pour lequel les CL 50 sont toujours moins élevées, bien que plus importantes pour le TiAl₂ (tableau 1).

Enfin nous pouvons constater également que les phytophages ravageurs sont moins sensibles que leur hyménoptère parasitoïde. Ce résultat implique des conséquences négatives sur une utilisation éventuelle des composés soufrés en lutte intégrée contre ces ravageurs en présence de *D. basalis*.

Tableau 3. CL 50 (exprimées en mg/l) chez la mite *Tineola bisselliella* après une exposition de 24h aux disulfures (DS) de dipropyle (Pr₂), diallyle (Al₂), diméthyle (Me₂) et au diséléniure (DSe) de diméthyle.

Insectes	Fumigants		
	DSPr ₂	DSAl ₂	DSeMe ₂
<i>Tineola bisselliella</i>	1.26	0.013	0.002

Il apparaît enfin que la mite *T. bisselliella* est également très sensible vis à vis des composés des *Allium* (tableau 3) avec une forte différence de sensibilité en fonction des composés. Le DSAl₂ est beaucoup plus toxique que le DSPr₂. Le DSeMe₂ est le composé pour lequel la CL 50 est la plus faible, cette substance semblant très efficace contre cette espèce.

Discussion

Les composés soufrés des *Allium* sont donc toxiques pour de nombreuses espèces d'insectes en milieu clos. Outre les effets toxiques, des cas d'effets antiappétants ont été observés. Des extraits d'ail perturbent la prise alimentaire du coléoptère *Epilachna varivestis* (Nasseh, 1981). Le comportement de ponte chez deux lépidoptères *Pieris brassicae* et *P. napi* est inhibé par des extraits d'oignon (Lundgren, 1975). Pareillement, des extraits d'ail réduisent significativement le taux de ponte des femelles de psylle du poirier, *Cocopsylla pyricola* (Weissling et al., 1997). Des extraits d'ail et d'oignon perturbent également l'établissement du puceron *Myzus persicae* sur sa plante hôte et empêchent l'alimentation de l'insecte, entraînant le cas échéant la mort de celui-ci (Hori, 1996).

Les effets répulsifs les plus souvent décrits ont des conséquences sur le comportement locomoteur de nombreux insectes. Ainsi, l'odeur d'oignon est répulsive pour la mouche du chou, *Delia (brassicae) radicum* (Prokopy et al., 1983), ainsi qu'un extrait d'ail pour le moucheron *Simulium indicum* et le moustique *Culex fatigans* (Bhuyan et al., 1974).

Des extraits d'*Allium* où la teneur en Ti a été vérifiée, ont montré une activité répulsive pour trois espèces de coléoptères des denrées stockées (Trematerra et Lanzotti, 1999).

L'étude des effets négatifs des *Allium* a surtout porté sur la physiologie des insectes. Des perturbations du développement ont été observées chez la coccinelle *Epilachna varivestis* en présence d'extraits d'ail (Nasseh, 1981). Des applications topiques d'extraits d'ail chez les larves de 5ème stade de *Spodoptera litura* présentent une activité juvénomimétique qui perturbe le développement et la mue, entraînant la mort de l'insecte (Suryakala et al., 1984). Une mortalité larvaire plus importante est obtenue chez le parasitoïde *Diadromus pulchellus* lorsqu'il se développe sur son hôte la teigne du poireau, *A. assectella*, alimentée à l'aide d'une nourriture riche en *Allium* (Bekkaoui et Thibout, 1992).

Divers ordres d'insectes sont sensibles aux effets insecticides des *Allium*, en particulier aux extraits d'ail. Ils se révèlent toxiques pour les pucerons *Sitobion avenae* et *Rhopalosiphum padi* (Nasseh, 1983), pour le criquet *Schistocerca gregaria* (Thapar et Chandra, 1981), pour les larves de doryphore, *Leptinotarsa decemlineata*, et de piéride du chou, *P. brassicae* (Greenstock, 1970, in Amonkar et Banerji, 1971), pour la teigne de la pomme de terre, *Phthorimaea operculella* (Nasseh, 1992), pour cinq espèces de moustiques des genres *Culex* et *Aedes* (Amonkar et Reeves, 1970), pour les puces (Renapurkar et Deshmukh, 1984), pour la mouche *Musca domestica* et pour le coléoptère *Trogoderma granarium* (Bhatnagar-Thomas et al., 1974). Chez ces deux dernières espèces, les auteurs ont montré que l'extrait avait une action anticholinestérasique.

Chez la mouche blanche des serres, *Bemisia argentifolii*, les œufs, les nymphes et les adultes sont sensibles à la présence de divers extraits d'ail (Flint et al., 1995).

De même les œufs, les larves et les adultes des coléoptères des stocks *Tribolium castaneum* et *Sitophilus zeamais* présentent une mortalité qui dépend de la concentration de l'extrait d'ail utilisé (Ho et al., 1996). Une action ovicide de l'ail frais a été mise en évidence sur la punaise *Dysdercus koenigii* et les noctuelles *Earias vitella*, *Spodoptera litura* et *Helicoverpa armigera*. Les individus qui parviennent à éclore ne termineront leur développement qu'en très faible proportion (Gurusubramanian et Krischna, 1996).

Le poireau s'est révélé toxique pour *Drosophila melanogaster* (Lecuyer, 1975). Dans ce cas, la toxicité de la plante varie selon les saisons, l'apport en sulfate ou encore les diverses parties utilisées (Thibout et Auger, 1997). Il faut noter que, parmi les insectes testés, chez *Acanthoscelides obtectus*, la bruche du haricot, la ponte et le développement sont assez peu sensibles aux composés volatils émis par les gousses d'ail frais (Regnault-Roger et Hamraoui, 1993) et que, chez *Myzus persicae*, Nasseh (1983) observe une diminution de la mortalité après traitement à l'aide d'un extrait d'ail, ceci en contradiction avec les résultats de Hori (1996) cités plus haut.

Une autre manière d'utiliser les propriétés des *Allium* dans la lutte contre les insectes est celle des cultures associées dans laquelle les effets des diverses plantes sont censés perturber le comportement des spécialistes. A notre connaissance, quatre expériences de ce type ont été réalisées. La première associe l'oignon et la carotte, *Daucus carota* (Uva et Coaker, 1984). Les auteurs observent alors sur les carottes une diminution des attaques de mouche de la carotte, *Psila rosae*, et de puceron de la carotte, *Cavariella aegopodii*, de même qu'une diminution des attaques de *Thrips tabaci* sur les oignons. La deuxième associe l'oignon, l'ail et la pomme de terre, *Solanum tuberosum* (Potts et Gunadi, 1991). Les résultats sont dans ce cas moins intéressants que les précédents puisque les populations de *Myzus persicae*, *Aphis gossypii* et *Empoasca* sp. décroissent tandis que les populations de *Thrips palmi* et *T. parvispinus* augmentent.

La troisième associe la betterave, *Beta vulgaris*, et d'autres plantes dont l'oignon (Rottger, 1979). Aucune modification de l'attraction de la mouche de la betterave, *Pegomya betae*, par sa plante-hôte n'est observée.

Enfin, la quatrième associe le chou et diverses plantes odoriférantes dont l'oignon, l'ail, *Allium ascalonicum* et *Allium schoenoprasum* (Latheef et Ortiz, 1983). Dans ce cas, le résultat est inverse de celui espéré puisque les pontes de *P. rapae* sur le chou sont en augmentation.

Chez les phytophages, le comportement locomoteur de trois lépidoptères, *P. interpunctella*, *E. kuehniella* et *Plutella (maculipennis) xylostella*, a été observé en présence des DSPr₂, TiPr₂ et le TSPr₂. Seul le TiPr₂ a une activité répulsive sur *E. kuehniella* ; dans les autres cas, il n'y a pas de modifications du comportement locomoteur (Auger et al., 1989a). Par ailleurs, le TiPr₂ est répulsif pour le bruchidae *C. maculatus* (Lecomte, communication personnelle).

Les composés volatils des *Allium* peuvent avoir des effets négatifs sur certains

insectes entomophages, ce qui risque d'avoir des répercussions sur les populations d'insectes phytophages. Ainsi, les disulfures séquestrés par le criquet *Romalea guttata* s'alimentant sur l'oignon sauvage, *Allium canadense*, sont répulsifs pour deux espèces de fourmis prédatrices, *Tapinoma melanocephalum* et *Solenopsis invicta* (Jones et al., 1989). Parallèlement, le DSPr₂ et le PrCSO (précurseur non volatil) repoussent les fourmis *Formica fusca* et *Formica selysi* qui attaquent plus efficacement les larves de la teigne du poireau, *A. assectella*, nourries sur milieu artificiel sans poireau que celles nourries sur milieu artificiel avec poireau (Nowbahari et Thibout, 1992). Le nombre de larves transportées au nid est plus faible en présence de DSPr₂ et le temps de transport inversement est plus long. Dans ces deux cas, répulsion et antiappétence sont observées.

Les autres effets négatifs des composés soufrés volatils étudiés chez les insectes concernent les effets physiologiques et plus précisément les effets toxiques. Chez le moustique *Culex pipiens*, les DSAI₂ et TSAI₂ sont larvicides (Amonkar et Banerji, 1971).

En plus des travaux sur les insectes, quelques résultats ont été publiés sur les nématodes et les acariens. Toutes les études sur les activités nématocides des *Allium* ont eu pour cible le nématode *Meloidogyne incognita*. Isolés des extraits nématocides d'*Allium grayi* et d'*Allium fistulosum*, le TSMPr, le DSPr₂, le DSAI₂, le TiPr₂, le TiMePe et le TOPr₂ se révèlent les plus actifs (Tada et al., 1988). Parallèlement, Sharma et ses collègues ont montré que les extraits d'ail sont actifs, l'alliicine pouvant être utilisée pour protéger les plants de tomate en plongeant leurs racines dans une solution à 25 ppm pendant 5 minutes (Gupta et Sharma, 1993). Enfin, signalons que l'acide asparagique a été cité comme possédant une puissante activité nématocide (Parry et al., 1982).

Très peu d'études ont été publiées sur le pouvoir acaricide des *Allium* et de leurs composés soufrés. Un travail démontre cependant que des extraits d'ail et des préparations à partir de ces extraits présentent des effets répulsifs contre l'acarien *Tetranychus urticae* (Boyd et Alverson, 2000). Signalons un brevet de 1994 de Ferrari, concernant l'effet d'extraits d'ail sur l'acarien *Varroa jacobsoni* nuisible aux abeilles.

Conclusion

Les propriétés pesticides des composés volatils des *Allium* semblent considérables.

Ces composés apparaissent donc comme potentiellement utilisables pour le contrôle des ravageurs tels que les insectes phytophages, les acariens, les nématodes. Ces composés pourraient être plus particulièrement utilisés en fumigation pour lutter contre les ravageurs des denrées stockées. De part nos résultats, les thiosulfates et le disélénure de diméthyle semblent être les plus intéressants insecticides. Cependant, étant donné l'instabilité des thiosulfates, les disulfures et le disélénure de diméthyle,

plus stables, paraissent plus facilement utilisables et pourraient donc s'avérer être une bonne alternative au bromure de méthyle dont l'utilisation sera très prochainement interdite.

Bibliographie

- Akashi K., Nishimura H. et Misutani J., 1975. Precursors and enzymatic development of caucas flavor components. *Agr. Biol. Chem.*, 39, 1507-1508.
- Amonkar S.V. et Reeves E.L., 1970. Mosquito control with active principle of garlic, *Allium sativum*. *J. Econ. Entomol.*, 63, 1172-1175.
- Amonkar S.V. et Banerji A., 1971. Isolation and characterization of larvicidal principale of garlic. *Sciences*, 174. 1343-1344.
- Arnault I., Mondy N., Cadoux F. et Auger J., 2000. Possible interest of various sample transfer techniques for fast GC-SM analysis of true onion volatiles. *J. Chrom.*, 896, 117-124.
- Auger J. et Thibout E., 1981. Emission par le poireau, *Allium porrum*, de thiosulfates actifs sur la teigne du poireau, *Acrolepiopsis assectella* Z. (Lepidoptera). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 292, 217-220.
- Auger J., Lecomte C. et Thibout E., 1989a. Leek odour analysis by gas chromatography and identification of the most active substance for the leek moth *Acrolepiopsis assectella*. *J. Chem. Ecol.*, 15, 1847-1854.
- Auger J., Lecomte C., Paris J., Thibout E., 1989b. Identification of leek-moth and diamondback-moth frass volatiles that stimulate parasitoïd, *Diadromus pulchellus*. *J. Chem. Ecol.*, 15, 1391-1398.
- Auger J., Lalau-Keraly F.X. et Belinsky C., 1990. Thiosulfates in vapor phase are stable and they can persist in the environment of *Allium*. *Chemosphere*, 21, 837-843.
- Austin S.J. et Schwimmer S., 1970. L- -glutamyl peptidase activity in sprouted onion. *Enzymologia*, 40, 273-277.
- Bekkaoui A. et Thibout E., 1992. Rôle des substances cuticulaires non volatiles d'*Acrolepiopsis assectella* (Lep. : Hyponomeutoïdea) dans la reconnaissance de l'hôte par les parasitoïdes *Diadromus pulchellus* et *D. collaris* (Hym. : Icheumonidae). *Entomophaga*, 37, 627-639.
- Bhatnagar-Thomas P.L. et Pal. A.K., 1974. Studies on the insecticidal activity of garlic oil. II. Mode of action of the oil as a pesticide in *Musca domestica nebulosa* Fabr. and *Trogoderma granarium* Everts. *J. Food Sci. Technol.*, 11, 153-158.
- Bhuyan M., Saxena B.N. et Rao K.M., 1974. Repellent property of oil fraction of garlic, *Allium sativum* L. *Indian J. Exp. Biol.*, 12, 575-576.
- Block E., Ahmad S., Jain M.K., Crecely R.W., Apitz-Castro R. et Cruz M., 1984. (E/Z) Ajoène : A potent antithrombotic agent from garlic. *J. Am. Chem. Soc.*, 106, 8295-8296.
- Boscher J., Auger J., Mandon N. et Ferary S., 1995. Qualitative and quantitative comparison of volatile sulphides and flavour precursors in different organs of some wild and cultivated garlic. *Biochem. System. Ecol.*, 23, 787-791
- Boyd D.W. et Alverson D.R., 2000. Repellency effects of garlic extracts on twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *J. Entomol. Sci.*, 35, 86-90.
- Cavallito C.J. et Bailey J.H., 1944. Allicin, the antibacterial principale of *Allium sativum* L. Isolation, physical properties and antibacterial action. *J. Am. Chem. Soc.*, 66, 1950-1952.
- Ferary S. et Auger J., 1996. What is the true odour of cut *Allium* ? Complementary of various hyphenated methods : gas chromatography-mass spectrometry and high-performance liquid

- chromatography-mass spectrometry with particle beam and atmospheric pressure ionization interfaces in sulphenic acids rearrangement components discrimination. *J. Chromato. A.*, 750, 63-74.
- Ferary S., Thibout E. et Auger J., 1996. Direct analysis of odors emitted by freshly cut *Allium* using combined high-performance liquid chromatography and mass spectrometry. *Rapid Comm. Mass Spectro*, 10, 1327-1332.
- Ferary S., Keller J., Boscher J. et Auger J., 1998. Fast narrow-bore HPLC-DAD analysis of biologically active thiosulfinates obtained without solvent from wild *Allium* species. *Biomed. Chromato.*, 12, 104-106.
- Flint H.M., Parks N.J., Holmes J.E., Jones J.A. et Higuera C.M., 1995. Tests garlic oil for control of the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii* Bellows and Perring (Homoptera : Aleyrodidae) in cotton. *Southw. Entomol.*, 20, 137-150.
- Fraenkel, G., 1959. The raison d'être of secondary plant substances. *Science* 129 : 1466-70.
- Freeman G.G., 1975. Distribution of flavour components in onion (*Allium cepa* L.), leek (*Allium porrum*) and garlic (*Allium sativum*). *J. Sci. Food Agric.*, 26, 471-481.
- Gupta R. et Sharma N.K., 1993. A study on the nematicidal activity of allicin - an active principle in garlic, *Allium sativum* L. - against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919) Chitwood, 1949. *Internl. J. Pest Management*, 39, 390-392.
- Granroth B., 1970. Biosynthesis and decomposition of cysteine derivatives of onion and other *Allium* species. *Ann. Acad. Sci. Fenn., Ser. AII*, 9, 154-160.
- Gurusabramanian G. et Krishna S.S., 1996. The effects of exposing eggs of four cotton insect pests to volatiles of *Allium sativum* (Liliaceae). *Bull. Entomol. Res.*, 86, 29-31.
- Ho S.H., Koh L., Ma Y., Huang Y. et Sim K.Y., 1996. The oil of garlic, *Allium sativum* L. (Amaryllidaceae), as a potential grain protectant against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch. *Postharvest Biol. Technol.*, 9, 41-48.
- Hori M., 1996. Settling inhibition and insecticidal activity of garlic and onion against *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera : Aphididae). *Appl. Entomol. Zool.*, 31, 605-612.
- Ishikawa Y., Ikeshoji T., Matsumoto Y., Tsutsumi M. et Mitsui Y., 1981. Field trapping of the onion and seed-corn flies with baits of fresh and aged onion pulp. *Appl. Entomol. Zool.*, 16, 490-493.
- Jaillais B., Cadoux F. et Auger J., 1999. SPME-HPLC analysis of *Allium* lacrimatory factor and thiosulfinates. *Talanta*, 50, 423-431.
- Jones C.G., Whitman D.W., Conwton S.J., Silk P.J. et Blum M.S., 1989. Reduction in diet breadth results in sequestration of plant chemicals and increases efficacy of chemical defense in a generalist grasshopper. *J. Chem. Ecol.*, 15, 1811-1812.
- Judd G.J.R et Borden J.H., 1991. Sensory interaction during trap-finding by female onion flies : implication for ovipositional host-plant finding. *Entomol. Exp. Appl.*, 58, 239-249.
- Kupiecki F.P. et Virtanen A.I., 1960. Cleavage of alkyl cysteine sulphoxides by an enzyme in onion (*Allium cepa*). *Acta Chem. Scand.*, 14, 1913-1918.
- Lancaster J.E. et Collin H.A., 1981. Presence of alliinase in isolated vacuoles and of alkyl cysteine sulfoxides in the cytoplasm of bulbs of onion (*Allium cepa*). *Plant. Sci. Letters*, 22, 169-179.
- Lancaster J.E., Dommissie E.M. et Shaw M.L., 1988. Production of flavour precursors (S-alk(en)yl-cysteine sulphoxides) in photomixotrophic callus of garlic. *Phytochem*, 27, 2123-2124.
- Latheef M.A. et Ortiz J.H., 1983. The influence of the companion herbs on egg distribution of the imported cabbageworm, *Pieris rapae* (Lepidoptera : Pieridae), on collard plants. *Can. Entomol.*, 115, 1031-1038.
- Lecomte C. et Thibout E., 1981. Attraction d'*Acrolepiopsis assectella*, en olfactomètre par des

- substances allélochimiques volatiles d'*Allium porrum*. Entomol. Exp. Appl., 30, 293-300.
- Lecomte C. et Thibout E., 1984. Etude olfactométrique de l'action de diverses substances allélochimiques végétales dans la recherche de l'hôte par *Diadromus pulchellus* (Hym : Ichneumonidae). Entomol. Exp. Appl., 35, 295-303.
- Lecuyer P., 1975. Etude du pouvoir toxique des substances volatiles du poireau (*Allium porrum* L.) sur des insectes consommateurs ou non de cette plante. Thèse 3ème cycle, Tours 123 p.
- Lundgren L., 1975. Natural plant chemicals acting as oviposition deterrents on cabbage butterflies (*Pieris brassicae* L., *P. rapae* L. and *P. napi* L.). Zool. Scripta, 4, 253-258.
- MacSheehy S., Yang W., Pannier F., Szpunar J., Lobinski R., Auger J. et Potin-Gautier M., 2000. Speciation analysis of selenium in garlic by two-dimensional high-performance liquid chromatography with parallel inductively coupled plasma mass spectrometric and electrospray tandem mass spectrometric detection. Analytica Chimica Acta, 421, 147-153.
- Matsumoto Y., 1970. Volatile organic sulphur compounds as insect attractants with special reference to host selection. In : Control of insect behavior by natural products. Wood. DL, Silverstein RM et Nakajima M. (Eds), Academic Press, NY, 133-160.
- Mazelis M., 1963. Demonstration and characterization of cysteine sulfoxide lyase in the cruciferae. Phytochem., 2, 15-22.
- Mazelis M. et Fowden L., 1973. Relationship on the endogenous substrate to specificity of s-alkyl cysteine lyase of different species. Phytochem, 12, 1287-1289.
- Nasseh M.O., 1981. Zur Wirkung von Rohextrakten aus *Allium sativum* L. auf Frassaktivität und Metamorphose von *Epilachna varivestis* Muls (Col., Coccinellidae). Z. ang. Entomol., 92, 464-471.
- Nasseh M.O., 1983. Wirkung von Rohextrakten aus *Allium sativum* L. auf Getreideblautläuse *Sitobion avenae* F. und *Rhopalosiphum padi* L. sowie die Grüne Pfirsichblattlaus *Myzus persicae* Sulz. Z. ang. Entomol., 95, 228-230.
- Nasseh O.M. et Al Furassy M.A., 1992. Versuche zur Bekämpfung der Kartoffelmotte, *Phthorimaea operculella* (Zell.) (Lep., Gelechiidae) mit chemischen und natürlichen Insektiziden in der Republik Yemen. Anz. Schädlingkd. Pflanzen. Umwelt, 65, 157-159.
- Nowbahari B. et E. Thibout, 1992. Defensive role of *Allium* sulfur compounds for leek moth *Acrolepiopsis assectella* Z. (Lepidoptera) against generalist predators. J. Chem. Ecol., 18, ; 1991-2002.
- Parry R.J., Mizusawa A.E. et Ricciardone M., 1982. Biosynthesis of sulphur compounds. Investigation of the biosynthesis of asparagusic acid. J. Am. Chem. Soc., 104, 1442-1443.
- Potts M.J. et Gunadi N., 1991. The influence of intercropping with *Allium* on some insect populations in potato (*Solanum tuberosum*). Ann. Appl. Biol., 119, 297-213.
- Prokopy R.J., Collier R.H. et Finch S., 1983. Leaf color used by cabbage root flies to distinguish among host plants. Science, 221, 190-192.
- Regnault-Roger C. et Hamraoui A., 1993. Efficiency of plants from the south of France used as traditional protectants of *Phaseolus vulgaris* L. against its bruchid *Acanthoscelides obtectus* (Say). J. stored Prod. Res., 29, 259-264.
- Renapurkar D.M. et Deshmukh P.B., 1984. Pulicidal activity of some indigenous plants. Insect Sci. Appl., 5, 101-102.
- Rottger U., 1979. Untersuchungen zur Wirtswahl der Rüb enfliege *Pegomya beta* Curt. (Diptera, Anthomyiidae). Z. ang. Entomol., 87, 337-348.
- Schwimmer S. et Kjaer A., 1960. Purification and specificity of the c-s-lyase of *Albizia lophanta*. Biochem. Biophys. Acta, 42, 316-320.
- Schwimmer S. et Friedman M., 1972. Genesis of volatiles sulphur containing food flavours. Flav. Ind., 137-145.

- Stoll A. et Seebeck E. 1949. Über die spezifität der alliinase und die Synthese mehrerer dem alliin verwandter verbindungen. *Helv. Chim. Acta*, 32, 866-877.
- Suryakala G., Kishen Rao B., Takur S.S. et Nagaraja Rao P., 1984. Juvenomimetic activity and insecticidal activity of extracts from *Allium sativum* and *Butea monosperma* on *Spodoptera litura* (Lepidoptera : Noctuidae). *Zool. Jb. Physiol.*, 88, 113-117.
- Tada M., Hiroe Y., Kiyohara S. et Suzuki S., 1988. Nematicidal and antimicrobial constituents from *Allium grayi* Regel and *Allium fistulosum* L. var. *caespitosum*. *Agric. Biol. Chem.*, 52, 2383-2385.
- Thapar K.L. et Chandra H., 1981. A note on the toxicity/deterrency of principle of garlic to the desert locust (*Schistocerca gregaria*) Forsk. *Plant Prot. Bull.*, 33, 151-152.
- Thibout E., Auger J. et Lecomte C., 1982. Host plant chemicals responsible for attraction and oviposition in *Acrolepiopsis assectella*. In : Proc. 5th Intl. Symp. Insect-Plant Relationships, Visser J.H. et Minks A.K. (Eds), Pudoc, Wageningen, 107-115.
- Thibout E. et Auger J., 1997. Composés soufrés des *Allium* et lutte contre les insectes. *Acta Bot. Gallica*, 144, 419-426.
- Trematerra P. et Lanzotti V., 1999. The activity of some compounds extracts by *Allium* on stored-product insects *Oryzaephilus surinamensis* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). *J. Pest Science*, 72,122-125.
- Tsuno S., 1958. Studies on the nutritional value of *Allium* plants. XVII Production of allithiamine from thianine by the use of *Iphelon uniflorum* Rof.. *Vitamins*, 14, 665-670.
- Uvah I.I.I. et Coaker T.H., 1984. Effect of mixed cropping on some insect pests of carrots and onions. *Entomol. Exp. appl.*, 36, 159-167.
- Virtanen A.I. et Späre C.G., 1961. Isolation of the precursor of the lacrymatory factor in onion (*Allium cepa*). *Suomen Kem*, B34, 72-80.
- Virtanen A.I., 1965. Studies on organic sulphur compounds and other labile substances in plants. *Phytochem*, 4, 207-228.
- Weissling T.J., Lewis T.M., McDonough L.M., et Horton D.R., 1997. Reduction in pear psylla (Homoptera : Psyllidae) oviposition and feeding by foliar application of various materials. *Canad. Entomol.*, 129, 637-643.
- Weston P.A. et Miller J.R., 1985. Influence of cage design on precision of tube-trap bioassay for attractants of the onion fly, *Delia antiqua*. *J. Chem. Ecol.*, 11, 435-440.