

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE PRESENTE A
L'UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
DAVID BIRON

POTENTIEL DES MICRO-ONDES COMME MOYEN DE CONTROLE
DE LA MOUCHE DU CHOU, *DELIA RADICUM* L. (DIPTERA: ANTHOMYIIDAE).

6 SEPTEMBRE 1994

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RESUME

La mouche du chou, *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae), est un ravageur important de plusieurs crucifères. Dans un contexte commercial, les maraîchers luttent contre les populations de cette mouche avec des insecticides de synthèse. L'efficacité des micro-ondes pour lutter contre ce ravageur dans une culture de chou (*Brassica oleracea* var. Stonehead) a été évaluée en laboratoire à l'aide d'un four à micro-ondes industriel ($P = 0$ à 6 kW; $f = 2\,450$ MHz) en simulant deux moments d'intervention stratégiques. Au premier moment d'intervention, on visait les oeufs à la suite de la transplantation des plantules de chou. Les combinaisons de facteurs à l'essai étaient de 100 à $2\,100$ W (par incrément de 500) pour des durées de 5 , 10 , 15 , 20 et 25 s. Les traitements $10 \times 2\,100$, $20 \times 1\,600$, $20 \times 2\,100$, $25 \times 1\,100$, $25 \times 1\,600$ et $25 \text{ s} \times 2\,100$ W ont permis d'inhiber l'éclosion des oeufs ($p \leq 0,001$). Cependant, tout traitement supérieur ou égal à $5\,500$ J d'énergie émise ($5 \text{ s} \times 1\,100$ W) a causé une mortalité significative ($p \leq 0,05$) des plantules de chou. Au second moment d'intervention, on visait le stade nymphal après la récolte. Les combinaisons de facteurs étaient de $1\,000$ à $4\,000$ W (par incrément de $1\,000$) pour des durées de 10 , 20 , 30 et 40 s. Les traitements $10 \times 3\,000$ et $10 \text{ s} \times 4\,000$ W sont prometteurs. Ils inhibent ($p \leq 0,001$) l'émergence des pupes et n'ont aucun effet sur les choux. Les résultats démontrent qu'un traitement après la récolte serait préférable à un traitement printanier parce qu'il n'affecterait pas la croissance des plants de chou mais réduirait l'émergence des pupes pour l'année subséquente.

REMERCIEMENTS

Je remercie Charles Vincent pour l'encadrement exceptionnel qu'il m'a accordé. J'ai appris avec lui à identifier mes lacunes et à les surpasser pour optimiser la valeur de mes travaux scientifiques. Je remercie Marcel Giroux pour l'assistance technique et l'utilisation des équipements du laboratoire industriel des micro-ondes (LAIMO) situé à l'Ecole Polytechnique de Montréal. Je remercie Alain Maire pour ses conseils judicieux durant mon cheminement académique à l'université du Québec à Trois-Rivières. Il m'apparaît important de souligner le soutien moral constant de mes parents et de mes grands-parents. J'exprime ma gratitude envers le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) dont j'étais boursier. Je remercie Patrice Leclerc qui a participé aux applications des micro-ondes au laboratoire du LAIMO. Je remercie Antoine Aubin pour des conseils concernant les analyses statistiques. Je remercie Carole Brodeur pour avoir révisé les textes des chapitres 2 et 3. La colonie de la mouche du chou provenait de l'élevage de Lucie Royer de la Station de Recherches d'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada de St-Jean-sur-Richelieu. Je remercie André Poliquin, Marie-Josée Hotte, Benoît Rancourt et Guy Boulet pour leur assistance technique. Je remercie Sylvain Côté pour des conseils judicieux en informatique. Je remercie Noubar J. Bostanian et Gaston Mercier de la Station de Recherches d'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada de St-Jean-sur-Richelieu pour avoir fourni des équipements pour cette étude. Finalement, je remercie l'ensemble du personnel de la Station de Recherches d'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada de St-Jean-sur-Richelieu pour leur accueil splendide et le dynamisme qu'il m'ont transmis par leur professionnalisme exceptionnel.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
RESUME.	i
REMERCIEMENTS.	ii
TABLE DES MATIERES.	iii
CHAPITRES	
I. INTRODUCTION GENERALE.	1
II. POTENTIEL DES MICRO-ONDES COMME MOYEN DE CONTROLE DE LA MOUCHE DU CHOU, <i>DELIA RADICUM</i>	4
Résumé.	4
Introduction.	4
Matériel et méthode.	7
Résultats et discussion.	11
Remerciements.	17
Références.	18
Sommaire.	21
Tableaux.	22
1.Effets des micro-ondes ($f = 2\,450\text{ MHz}$) sur l'inhibition de l'éclosion des oeufs de <i>Delia radicum</i>	22
2.Effets des micro-ondes ($f = 2\,450\text{ MHz}$) sur l'inhibition de l'émergence des pupes de <i>Delia radicum</i>	23
3.Régressions logit de l'effet des micro-ondes ($f = 2\,450\text{ MHz}$) sur l'inhibition de l'éclosion et de l'émergence de <i>Delia radicum</i>	24
Figures.	25
1.Température moyenne ($n=26$) du sol en fonction du temps pour cinq niveaux de puissance (W), expérience A: durée du traitement 25s. . .	25

	2.Température moyenne (n=21) du sol en fonction du temps pour quatre niveaux de puissance (W), expérience B: durée du traitement 40s. .	2 6
III.	EFFETS DES MICRO-ONDES SUR LE CHOU, <i>BRASSICA OLERACEA</i> L. (VAR. STONEHEAD).	2 7
	Résumé.	2 7
	Introduction.	2 7
	Matériel et méthode.	2 9
	Résultats.	3 2
	Discussion.	3 3
	Remerciements.	3 6
	Références.	3 7
	Tableaux.	3 9
	1.Effet des micro-ondes ($f = 2\,450$ MHz) sur la mortalité des plantules (n=8) de chou (var. Stonehead).	3 9
	2.Effet des micro-ondes ($f = 2\,450$ MHz) sur la croissance du diamètre des tiges de plantules de chou (var. Stonehead).	4 0
	Figures.	4 1
	1.Température moyenne (n=26) du sol en fonction du temps pour cinq niveaux de puissance (W).	4 1
	2.Régression logit décrivant l'effet des micro-ondes ($f = 2\,450$ MHz) sur la probabilité de mort d'une plantule de chou 912 h à la suite d'un traitement	4 2
IV.	CONCLUSION GENERALE.	4 3
	ANNEXES.	4 5
	RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS.	4 5
	ENTOMOLOGIA EXPERIMENTALIS ET APPLICATA.	4 6
	CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE.	4 9

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'introduction au XVI^e siècle du chou, en Amérique du Nord, l'importance économique de cette crucifère n'a cessé de croître. Au Canada, en 1993, les superficies ensemencées et récoltées étaient respectivement de 4 832 et 4 106 ha. La production commerciale était de 120 171 tonnes métriques pour une valeur de 27 797 000 \$ (Statistiques Canada 1994).

Pendant son développement, *Brassica oleracea* est attaqué par plusieurs espèces d'insectes ravageurs. Les principales sont: *Pieris brassicae*, *Psylloides chrysocephala*, *Ceuthorrhynchus pleurostigma*, *Eurydema oleracea*, *Eurydema ornata* et *Delia radicum*. Le plus nocif de ces ravageurs est *Delia radicum*.

La mouche du chou, *Delia radicum*, est un insecte holométabole. Au Canada, elle a un minimum de deux générations par année. *Delia radicum* hiverne dans le sol au stade nymphal et émerge à la fin du printemps. Les adultes femelles pondent des oeufs près de la tige ou sur les feuilles des jeunes plants récemment transplantés à la fin de mai. Les oeufs éclosent trois à sept jours après la ponte alors les larves s'enfouissent dans le sol pour se gaver des racines des jeunes plants pendant une période de trois à quatre semaines.

Plusieurs moyens de lutte ont été utilisés pour contrôler *Delia radicum*: contrôle naturel (insectes prédateurs et parasites), méthodes de culture (assolement, éviter les fortes fumures, plantation d'automne), méthodes chimiques (hellébore blanc, lavage

carbolique, poudre de pyrèthre et insecticides chlorés et phosphorés) et méthodes physiques (disques de papier feutre goudronnés, cadre de coton à fromage et récoltes-pièges).

Depuis plusieurs décennies, les maraîchers contrôlent les populations de *Delia radicum* avec des insecticides de synthèse. Cependant, la mouche du chou a développé des lignées résistantes à ces insecticides. Il est alors possible qu'une lignée résistante se développe dans une région d'un pays et se propage aux autres. De plus, les gouvernements doivent gérer la quantité de résidus toxiques acceptables dans l'environnement et sur le chou en particulier, à cause de l'utilisation de produits chimiques pour contrer les insectes nuisibles, les maladies fongiques et les infections bactériennes.

Dans une perspective de lutte intégrée, il est possible d'atténuer ou de contrer les inconvénients des insecticides en utilisant une combinaison de moyens de contrôle physiques et/ou biologiques. Une avenue nouvelle en lutte physique est l'utilisation des micro-ondes pour contrôler les insectes. Le potentiel de ce moyen a été évalué pour plusieurs insectes de denrées alimentaires. Quelques études ont été réalisées dans le but de contrôler en champ des populations d'insectes.

La perspective de l'utilisation des micro-ondes comme moyen de contrôle de la mouche du chou est intéressante. Cela permettrait de réduire les populations sans engendrer de résidus toxiques dans l'environnement, d'atténuer le développement de populations résistantes et de diminuer le transport d'insecticides et d'autres produits toxiques sur les réseaux routiers.

L'interrogation à la base de ce projet était: l'énergie optimale (temps de traitement x puissance) inhibant l'éclosion des oeufs aura-t-elle un effet néfaste sur la croissance d'une plantule de chou ? Tenant compte du cycle biologique de *Delia radicum*, de celui de *Brassica oleracea* (var. Stonehead) et des propriétés des micro-ondes, deux moments d'intervention ont été envisagés: au printemps, lorsque les oeufs sont pondus par les femelles de la première génération près de la tige des plantules récemment transplantées, et après la récolte contre les pupes. Nous avons simulé en laboratoire ces deux moments d'intervention à l'aide d'un four à micro-ondes industriel ($P = 0$ à 6 kW; $f = 2\,450$ MHz).

L'article (Potentiel des micro-ondes comme moyen de contrôle de la mouche du chou, *Delia radicum*) au chapitre 2 traite des phénomènes ayant causés vraisemblablement l'inhibition de l'éclosion des oeufs et de l'émergence des pupes de *Delia radicum* lors des traitements. De plus, la possibilité de contrôler la mouche du chou en champ à l'aide des résultats obtenus in vivo est envisagée.

Le second article (Effets des micro-ondes sur le chou, *Brassica oleracea* L. (var. Stonehead)) au chapitre 3 traite des causes responsables de la mortalité et de la diminution de la croissance des tiges des plantules de chou lors de la simulation du traitement printanier. Finalement les effets possibles d'un traitement printanier contrôlant l'éclosion des oeufs de *Delia radicum* sont envisagés en ce qui concerne la croissance des plants de chou.

CHAPITRE 2

POTENTIEL DES MICRO-ONDES COMME MOYEN DE CONTROLE DE LA MOUCHE DU CHOU, *DELIA RADICUM*.

D. Biron*, C. Vincent**, M. Giroux*** et A. Maire*

* Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), Trois-Rivières (Québec), Canada G9H 5H7

** Station de recherches, Agriculture et Agro-Alimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec), Canada J3B 3E6

*** LAIMO (laboratoire d'applications industrielles des micro-ondes), Département de génie électrique et de génie informatique, Ecole polytechnique, Montréal (Québec), Canada H3C 3A7

mots clés: *Brassica oleracea*, *Delia radicum*, lutte intégrée, lutte physique, micro-ondes

Résumé

Deux moments d'intervention stratégiques ont été expérimentés avec un four à micro-ondes industriel ($f = 2\,450$ MHz; $P = 0$ à 6 kW) pour contrôler la mouche du chou (*Delia radicum*) [Diptera: Anthomyiidae]. Au premier moment d'intervention, on visait les oeufs à la suite de la transplantation des plantules de chou. Les traitements $10 \times 2\,100$, $20 \times 1\,600$, $20 \times 2\,100$, $25 \times 1\,100$, $25 \times 1\,600$ et $25 \text{ s} \times 2\,100 \text{ W}$ ont permis d'inhiber l'éclosion des oeufs ($p \leq 0,001$). Cependant, ils causaient des effets létaux aux plantules de chou (*Brassica oleracea* var. Stonehead). Au second moment d'intervention, on visait le stade nymphal après la récolte. Les traitements $10 \times 3\,000$ et $10 \text{ s} \times 4\,000 \text{ W}$ sont les plus prometteurs: ils inhibent l'émergence des pupes ($p \leq 0,001$) et n'ont aucun effet sur les choux. Les résultats démontrent qu'un traitement après la récolte serait préférable à un traitement printanier.

Introduction

La mouche du chou, *Delia radicum* L. (Diptera: Anthomyiidae) est un insecte holométabole et polyvoltin qui attaque plusieurs crucifères cultivées et sauvages. Elle occupe la zone tempérée de la région holarctique ($35\text{-}60^\circ \text{ N}$) (Finch et coll. 1986). *Delia radicum* hiverne à l'état de pupes. Au printemps, les adultes pondent leurs oeufs

près de la tige ou sur les feuilles des plantules de crucifères récemment transplantées. Les oeufs éclosent trois à sept jours après la ponte. Les larves s'enfouissent dans le sol et se nourrissent des racines des crucifères pour une période de trois à quatre semaines. Au Canada, un minimum de deux générations par année est observé (Duncan 1945, Anonyme 1973).

Plusieurs moyens de lutte ont été expérimentés pour contrôler les populations de *Delia radicum* : biocides autonomes (prédateurs ou parasites) (Read 1962, Finlayson 1976, Finch & Collier 1984), méthodes culturales (Gibson & Treherne 1917), insecticides chimiques (Read 1970, Varis & Dalman 1980), stérilisation des mâles adultes (Swales 1966), récoltes-pièges, disques de papier feutre goudronnés et cadres de coton à fromage (Gibson & Treherne 1917). Au début du siècle, des moyens de contrôle physiques, biologiques et chimiques étaient suggérés aux maraîchers pour contrôler la mouche du chou (Gibson & Treherne 1917). Cependant, après la seconde guerre mondiale, les insecticides de synthèse s'imposèrent comme méthode pratique de lutte en contexte commercial (Eckenrode 1972). Ces produits favorisaient une augmentation de la production maraîchère tout en diminuant l'effort requis pour contrôler efficacement la mouche du chou à un coût raisonnable. Cette méthode est remise en question en raison du développement de lignées résistantes aux insecticides (Read & Brown 1966, Eckenrode 1972, Hennequin & Augé 1975, McDonald & Swales 1975) et de la nécessité de gérer la quantité de résidus toxiques acceptables sur le chou et dans l'environnement (Anonyme 1973, Anonyme 1977).

Dans une perspective de lutte intégrée, il est possible d'atténuer ou de contrer les inconvénients des insecticides en utilisant des moyens de contrôle physiques et/ou biologiques. Une avenue nouvelle en lutte physique consiste en l'utilisation des micro-ondes (Thayer 1985). Cette méthode permettrait de réduire les populations de *Delia radicum* sans engendrer de résidus toxiques dans l'environnement et retarder le développement de lignées résistantes. Les micro-ondes sont un type d'ondes électromagnétiques non ionisant. Ces ondes chauffent un objet en le pénétrant. À la suite d'une polarisation des molécules d'eau et de lipides à l'intérieur de l'objet exposé, les molécules se réorientent constamment en fonction de la fréquence, d'où un frottement intermoléculaire générant de la chaleur. Ce phénomène est appelé le chauffage à coeur (Berteaud & Delmotte 1993). Les facteurs qui influencent l'absorption des micro-ondes par un objet sont: sa forme, son ordre de grandeur ($1 \text{ mm} \leq \text{objet} \leq 1 \text{ m}$), ses propriétés diélectriques, son orientation par rapport au champ électrique et magnétique, la fréquence d'exposition, la puissance et la teneur en eau et en lipides (Nelson 1973, Assenheim et coll. 1980).

Tenant compte du cycle biologique de *Delia radicum* et des propriétés des micro-ondes, deux moments d'intervention ont été envisagés: au printemps, lorsque les oeufs sont pondus par les femelles de la première génération près de la tige des plantules récemment transplantés, et après la récolte contre les pupes. Nous avons simulé en laboratoire ces deux moments d'intervention afin d'établir lequel est le plus prometteur. Au préalable, nous avons développé la méthodologie par des essais préliminaires réalisés avec un four domestique Quasar MQS-1103H (800 W).

Matériel et méthode

Elevage de la mouche du chou

La mouche du chou a été élevée dans des chambres de croissance à 19 ± 1 °C, 60,5 % h.r. et à 16 L:8 O. Le matériel utilisé, la diète et la méthode d'élevage ont été inspirés du protocole de Whistlecraft, Tolman et Harris (1985).

Préparation des plantules de chou

A toutes les deux semaines, deux graines de chou (variété: Stonehead) ont été placées à une profondeur de 15 mm dans des contenants de polystyrène expansé (matériel neutre aux micro-ondes) de 450 ml remplis avec 450 g de sable pasteurisé. Les contenants étaient déposés dans une chambre de croissance et soumis pour une période d'une semaine à 21 °C, 65 % h.r. et à 16 L:8 O. Les contenants étaient ensuite transférés dans une chambre de croissance pour une période de quatre semaines à 15,5 °C, 65 % h.r. et à 16 L:8 O. Toutes les plantules ont été soumises à des traitements similaires lors de leur croissance: arrosage quotidien et fertilisant au besoin (10-52-10 NPK première semaine et 10-20-20 les autres semaines).

Four à micro-ondes

Un four à micro-ondes industriel de Cober Electronics (Stamford, Connecticut, E.U.)($P = 0$ à 6 kW; $f = 2\,450$ MHz) a été utilisé pour effectuer les traitements aux micro-ondes. Le choix de la fréquence était justifié par les faits suivants: 1° le respect des normes imposées par l'American National Standards Institute (ANSI) et le Canadian Standards Association (CSA)(Thuéry 1989); 2° la plupart des études concernant les insectes ont été réalisées à une $f = 2\,450$ MHz (Nelson 1973, Thayer 1985); 3° les

effets biologiques et les risques des micro-ondes à une $f = 2\,450$ MHz sont bien documentés (Thuéry 1989). Deux moments d'intervention ont été simulés: au printemps contre les oeufs (expérience A) et après la récolte contre les pupes (expérience B). Les dispositifs expérimentaux des deux expériences ont été déposés sous la sortie du guide d'ondes sur une brique neutre aux micro-ondes. Le répartiteur d'ondes était arrêté dans le but d'optimiser l'émission d'ondes perpendiculaires par rapport aux dispositifs expérimentaux.

Expérience A

Au premier moment d'intervention (printemps), les combinaisons de facteurs étaient de 100 à 2 100 W par incrément de 500 pour des durées de 5, 10, 15, 20 et 25 s. L'ensemble des combinaisons réalisé la même journée constituait un réplicat. Huit réplicats (=8 journées distinctes) ont été faits à environ une semaine d'intervalle. Avant un traitement, 35 plantules de chou ont été choisies au hasard parmi 50 âgées de cinq semaines (norme de transplantation suggérée aux agriculteurs par le MAPAQ) (Anonyme 1982). Trente de ces plantules ont été assignées au hasard à une combinaison de temps et de puissance incluant les témoins. Les cinq autres ont été soumises à 70 °C pendant 24 h pour déterminer le pourcentage en eau dans le sol avant les traitements. Pour chaque plantule traitée, dix oeufs viables (blancs et turgescents) (Mukerji & Harcourt 1970) et âgés d'au plus 24 h ont été déposés avec un pinceau dans un périmètre de 2 cm par rapport à la tige. Cette disposition des oeufs permettait de simuler des conditions de traitement semblables à celles qui prévaudraient lors d'un traitement en milieu naturel.

Après les traitements aux micro-ondes, les oeufs ont été retirés du sol avec un pinceau et placés dans des cellules préidentifiées d'une plaque microbiologique. Chaque cellule contenait une monocouche de sable pasteurisé. La plaque a été déposée dans une chambre de croissance à 19 ± 1 °C, 60,5 % h.r. et à 16 L:8 O. L'inhibition de l'éclosion des oeufs a été mesurée huit jours après le traitement. Afin de déterminer la perte moyenne en eau, chaque dispositif expérimental (contenant, sol, eau, plantule) a été pesé avant la mise des oeufs près de la tige de la plantule et après leur traitement.

Expérience B

Au second moment d'intervention (fin de l'été), les combinaisons de facteurs étaient de 1 000 à 4 000 W par incrément de 1 000 pour des durées de 10, 20, 30 et 40 s. L'ensemble des combinaisons réalisé la même journée constituait un réplicat. Six réplicats (=6 journées différentes) ont été faits à une semaine d'intervalle. Vingt-quatre heures avant les traitements, 10 pupes âgées d'au plus sept jours ont été placées au fond de 30 contenants de polystyrène expansé de 500 ml. Ensuite, 450 g de sable pasteurisé puis 50 ml d'eau distillée ont été ajoutés dans chaque contenant. Ces contenants ont été placés en chambre de croissance à 19 ± 1 °C, 60,5 % h.r. et à 16 L:8 O. La journée du traitement, 25 des 30 dispositifs (contenant, sol, eau, pupes) ont été choisis au hasard. Vingt de ces contenants ont été assignés à une combinaison de temps et de puissance. Les cinq autres ont été soumis à 70 °C pendant 24 h pour déterminer le pourcentage en eau dans le sol avant les traitements. Après les traitements aux micro-ondes, les pupes ont été retirées et placées dans des contenants de plastique de 29,6 ml préidentifiés et contenant de la vermiculite humidifiée. Ces contenants ont été fermés et placés dans une chambre de

croissance où les conditions étaient identiques à celles de la colonie de la mouche du chou. Pour chaque combinaison (puissance x temps), le pourcentage d'inhibition d'émergence des pupes a été déterminé 26 jours après le traitement. On a utilisé la méthodologie de l'expérience A pour déterminer la perte moyenne en eau dans le sol.

Mesure de la température du sol

Pour les expériences A et B, la température du sol a été mesurée durant les traitements à chaque seconde avec quatre thermocouples placés du centre vers l'extérieur des contenants afin d'estimer la température moyenne atteinte dans le sol. Au cours des expériences, trois thermocouples ont été défectueux pour deux réplicats de l'expérience A et pour un réplicat de l'expérience B. Ainsi pour l'expérience A, la température moyenne atteinte dans le sol a été évaluée avec 26 mesures et avec 21 pour l'expérience B.

Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel STATISTICA 4.0 de Statsoft Inc. fonctionnant en environnement WINDOWS 3.1 de IBM. Pour déterminer l'efficacité d'un traitement, les pourcentages d'inhibition d'éclosion des oeufs et d'inhibition d'émergence des pupes ont été comparés à ceux des témoins à l'aide du test du χ^2 (tableaux 1 et 2). L'établissement des relations entre l'inhibition de l'éclosion et les deux facteurs contrôlés (puissance et temps) a été fait avec une régression non linéaire (modèle logit: $y = \exp(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n) / (1 + \exp(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n))$) en utilisant la méthode de calcul du maximum de vraisemblance (tableau 3). Les algorithmes de Quasi Newton et de Hookes Jeeves combinés ont permis d'optimiser l'écart entre les valeurs observées et calculées afin d'obtenir les

meilleurs paramètres pour chaque droite de régression non linéaire calculée. Pour chaque modèle calculé (droite de régression non linéaire), la probabilité du modèle nul (L_0) dont tous les paramètres sont à zéro a été comparé avec celle du modèle calculé (L_1) en utilisant le χ^2 ($\chi^2 = -2 \times (\log(L_0) - \log(L_1))$).

Résultats et discussion

Deux facteurs résultant de l'action des micro-ondes sur les dispositifs expérimentaux étaient vraisemblablement responsables de l'inhibition de l'éclosion des oeufs (expérience A) et de l'émergence des pupes (expérience B). Le premier était la chaleur émise par le sol lors de son échauffement rapide par les micro-ondes (Fig. 1 et 2). Cette chaleur était transmise aux oeufs et aux pupes par conduction. Le second était le frottement intermoléculaire des molécules d'eau et de lipides à l'intérieur des oeufs et des pupes: ceci générait une production de chaleur interne. Ces deux facteurs ont agi simultanément durant les traitements à des valeurs différentes mais croissantes avec le temps. Il en résultait une perte de chaleur excessive par évaporation et convection (Chapman 1975) par les oeufs et les pupes d'où l'inhibition de leur développement. Notre expérience ne permet pas de déterminer lequel de ces facteurs était le plus important. Cependant Ferris (1984) a mis en évidence qu'après traitement aux micro-ondes la température d'un sol décroît progressivement en fonction du temps de traitement et de l'humidité du sol. L'action du premier facteur s'est donc prolongé un certain temps après le traitement.

A des traitements supérieurs ou égaux à 20 s x 1 100 W, des oeufs déformés ou des chorions secs ont été observés après 8 jours du traitement (durée de la phase

oeuf à 19 ± 1 °C, 60,5 % h.r. et à 16 L:8 O = 4 jours (Whistlecraft et coll. 1985))(expérience A; tableau 1). Ces oeufs étaient morts. Aux traitements inférieurs à 20 s x 1 100 W, 29 à 51 % des oeufs n'ont pas éclos (tableau 1). La structure du chorion et la couche de cire située en-dessous constituent une protection mécanique pour les oeufs contre la dessiccation (Finch & Coaker 1969, Hinton 1981, Hartman & Southern 1988). Cependant, les oeufs meurent à une température excédant 35 °C (Vodinskaya 1928). Lors de l'expérience A, l'inhibition d'éclosion observée, la mortalité naturelle prise en compte, impliquerait vraisemblablement la mort des oeufs à la suite d'une dénaturation de la couche de cire sous le chorion et/ou un déséquilibre des mécanismes physiologiques.

La mouche du chou a deux mécanismes physiologiques lui permettant de s'adapter aux rigueurs climatiques: la diapause (hiver) et l'estivation (été). La diapause est induite en exposant des individus du troisième stade larvaire à une photopériode inférieure à 12 h et/ou à une température inférieure à 15 °C (Collier & Finch 1983b). La photophase pendant laquelle les facteurs d'induction (photopériode et/ou température) doivent agir varie en fonction de leur intensité (Missonnier 1963). En milieu naturel, la diapause débute vers la mi-août et se termine vers la fin février (Collier & Finch 1983a). L'estivation consiste en un arrêt du développement nymphal à des températures se situant entre 22 et 30 °C (Missonnier 1963). La reprise du développement s'effectue lorsque les conditions sont idéales. La température létale en milieu naturel est de 33,5 °C (Coaker & Finch 1970). Pour les traitements supérieurs ou égaux à 30 s x 2 000 W, une déformation et un assèchement des pupes ont été observés. Ces pupes étaient mortes. Aux traitements inférieurs à 30 s x 2 000 W, il y avait deux possibilités: mort ou estivation. Parmi ces traitements (< 30 s x

2 000 W), 10 x 2 000; 10 x 3 000; 10 x 4 000; 20 x 1 000; 20 x 2 000; 30 x 1 000 et 40 s x 1 000 W ont causé dans le sol des températures supérieures à 35 °C qui ont probablement contribué à la mort des pupes. Il est théoriquement possible que les micro-ondes aient induit l'estivation en deçà de 33,5 °C. Toutefois le traitement 10 s x 1 000 W a stimulé significativement ($p \leq 0,001$) l'émergence des pupes par rapport au témoin, d'où l'impossibilité d'estiver à la suite d'un traitement aux micro-ondes.

Dans notre étude, les oeufs (expérience A) et les pupes (expérience B) ont été soumis à un stress physiologique important en raison de l'élévation rapide de la température du sol et du frottement intermoléculaire des molécules d'eau et de lipides. Cette élévation de la température était différente de celles des études de Vodinskaya (1928), Swailes (1963) et Coaker & Finch (1970) qui étaient causées par une transmission graduelle de chaleur par convection. Les seuils thermiques létaux des oeufs et des pupes aux micro-ondes sont probablement distincts aux seuils établis par convection. De plus, le facteur temps dans la détermination d'un seuil thermique léthal a été ignoré par Vodinskaya (1928), Swailes (1963) et Coaker & Finch (1970). Il y a nécessité de convenir de conditions standardisées pour la détermination d'un seuil thermique léthal.

Selon Liu et coll. (1975), les effets causés par les micro-ondes sur une cible biologique sont les mêmes quelles que soient les combinaisons de puissance et de temps pour une même énergie appliquée: puissance x temps = constante (loi de réciprocité). Del Estal et coll. (1986) ont démontré que cette loi ne s'applique pas à *Ceratitis capitata* Wiedeman (Diptera: Trypetidae). Ils ont vérifié, pour une même énergie

appliquée, que les effets biologiques diminuent en fonction du temps de traitement. Fleurat Lessard et coll. (1979) ont obtenu les mêmes résultats avec *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). Six groupes de traitements de l'expérience B permettent de vérifier l'hypothèse de Liu (tableau 2): 10 x 2 000 et 20 x 1 000; 10 x 3 000 et 30 x 1 000; 10 x 4 000, 20 x 2 000 et 40 x 1 000 ; 20 x 3 000 et 30 x 2 000; 20 x 4 000 et 40 x 2 000; 30 x 4 000 et 40 s x 3 000 W. Les groupes dont l'inhibition d'émergence était de 100 % pour toutes les combinaisons (20 x 3 000 et 30 x 2 000; 20 x 4 000 et 40 x 2 000; 30 x 4 000 et 40 s x 3 000 W) n'ont pas été retenus pour l'analyse statistique. Ce retrait était justifié parce que l'effet évalué (inhibition d'émergence des pupes) entre les combinaisons d'un groupe était optimal (100%) sans pour autant impliquer le même niveau de détérioration des pupes. Pour les trois autres groupes, le test du χ^2 a été utilisé pour comparer les traitements d'un même niveau d'énergie entre eux. Deux confirment l'hypothèse de Liu et un l'infirme: 10 x 2 000 et 20 x 1 000 ($\chi^2 = 0,21$, $p = 0,644$); 10 x 4 000, 20 x 2 000 et 40 s x 1 000 W ($\chi^2 = 4,22$, $p = 0,121$); 10 x 3 000 et 30 s x 1 000 W ($\chi^2 = 45,19$, $p = 0,000$). Cependant, pour les six groupes, les températures finales atteintes dans le sol étaient inversement reliées aux temps de traitement (tableau 2). En deçà de 40 000 J (10 x 4 000, 20 x 2 000 et 40 s x 1 000 W) et au delà de 20 000 J (10 x 2 000 et 20 s x 1 000 W), l'hypothèse de Liu et coll. (1975) n'a pas été vérifiée en ce qui concerne l'inhibition d'émergence des pupes.

Nous proposons quatre critères pour déterminer le potentiel des traitements aux micro-ondes au premier moment d'intervention (printemps) et au second (fin de l'été). Ces critères sont le temps de traitement, l'inhibition du développement (éclosion des oeufs ou émergence des pupes), la température atteinte dans le sol et la

perte en eau du sol. Un temps de traitement bref (< 30 s) permettrait la diminution du coût éventuel du traitement et permettrait une vitesse de passage raisonnable dans l'éventualité de la conception d'un appareil pour traitement en champ. Dans un contexte commercial, une inhibition de l'éclosion des oeufs ou de l'émergence des pupes doit être très hautement significative ($p \leq 0,001$) par rapport au témoin afin d'augmenter la robustesse du traitement. La température atteinte dans le sol doit être inférieure à 80°C pour éviter des effets létaux aux bactéries dénitrifiantes, aux bactéries fixatrices d'azote, aux ascomycètes et aux spores de bactéries (Vela et coll. 1976). Finalement, la perte en eau dans le sol doit être inférieure à 5 % pour éviter un effet néfaste de l'assèchement du milieu pour la microfaune et la microflore (Ferris 1984).

Au premier moment d'intervention (expérience A), six traitements étaient conformes aux exigences des quatre critères: $10 \times 2\ 100$; $20 \times 1\ 600$; $20 \times 2\ 100$; $25 \times 1\ 100$; $25 \times 1\ 600$ et $25\text{ s} \times 2\ 100\text{ W}$ (tableau 1). Cependant, toutes les plantules de chou des dispositifs expérimentaux soumis aux micro-ondes avec les oeufs à une puissance supérieure à 600 W et à un temps de traitement supérieur à 5 s étaient morts après 912 h à la suite des traitements (D. Biron, données non publiées). Ainsi, le premier moment d'intervention est non prometteur car il a causé des effets létaux aux plantules de chou aux doses requises au contrôle des oeufs.

Au second moment d'intervention (expérience B), quatre traitements étaient conformes aux exigences des critères préétablis: $10 \times 3\ 000$; $10 \times 4\ 000$; $20 \times 2\ 000$ et $20\text{ s} \times 3\ 000\text{ W}$ (tableau 2). Les plus prometteurs étaient $10 \times 3\ 000$ et 10 s

x 4 000 W à cause de leur temps de traitement et parce qu'ils n'ont causé aucun effet sur les plantules de chou.

Les régressions logit du tableau 3 ont été établies pour des teneurs moyennes en eau mesurées de 11 et 14 % respectivement pour les expériences A et B. Ces régressions permettent de déterminer, pour un temps pré-défini, la puissance causant une inhibition voulue de l'éclosion des oeufs ou de l'émergence des pupes. Elles ne sont pas directement transposables pour une application en champ. Cependant, elles peuvent servir à cibler la température dans le sol causant une inhibition voulue de l'éclosion des oeufs ou de l'émergence des pupes pour un temps de traitement prédéterminé.

Dans une perspective d'application en champ, le premier moment d'intervention (expérience A) n'est pas envisageable car les traitements prometteurs impliquent une mortalité des plantules de chou. Cependant, il serait possible après la récolte des choux (mi-août à fin août), de traiter le sol avec un appareil produisant des micro-ondes. Cet appareil devrait augmenter la température du sol entre 46 et 65 °C (traitements prometteurs, expérience B) à 10 cm de profondeur par 20 cm de largeur au niveau des rangs afin de contrôler les pupes qui se limitent pour la plupart à cette région (Abu Yaman 1960). Il existe des prototypes d'applicateurs à micro-ondes en champ qui ont été utilisés pour contrôler les mauvaises herbes en intervenant sur leurs graines (Thuéry 1989). La compagnie Phyttox Corporation a été une pionnière en concevant le Zapper III qui génère une puissance optimale de 30 kW à une $f = 2$ 450 MHz (Diprose et coll. 1984). Un appareil correspondant à nos exigences pourrait

être conçu en se basant sur les connaissances acquises avec les prototypes d'applicateurs en champ.

Le traitement s'effectuerait au début de la période induisant la diapause. A cette période de l'année, la plupart des pupes de la population ne seraient pas encore en diapause (Collier & Finch 1983a). Les résultats de l'expérience B, obtenus en sol sablonneux, sont conservateurs car ce type de sol a un facteur de dissipation ($E''r$) inférieur à ceux des sols argileux (Thuéry 1989). Ainsi, les observations de l'expérience B expliqueraient la majorité des résultats en champ concernant l'inhibition de l'émergence des pupes. Pour ce qui est des pupes qui seraient en diapause, il est très probable que l'augmentation rapide de la température du sol et de la température interne de la pupa provoqueraient un désordre physiologique résultant en un arrêt de la diapause et/ou à la mort. Finalement dans le cadre d'un programme de lutte intégrée, l'utilisation des micro-ondes après la récolte aurait un effet de réduction des populations de *Delia radicum* pour l'année subséquente.

Remerciements

D. Biron exprime sa gratitude envers le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) dont il était boursier. Nous remercions Patrice Leclerc qui a participé aux applications aux micro-ondes au laboratoire des applications industrielles des micro-ondes (LAIMO) situé à l'Ecole Polytechnique de Montréal. Nous sommes également redevables à Antoine Aubin de l'Université du Québec à Trois-Rivières pour des conseils concernant les analyses statistiques. Nous remercions Carole Brodeur pour avoir révisé cet article. La colonie de la mouche du

chou utilisée provient de l'élevage de Lucie Royer de la Station de recherches d'Agriculture et Agro-alimentaire Canada de St-Jean-sur-Richelieu. Nous remercions André Poliquin, Marie-Josée Hotte, Benoît Rancourt et Guy Boulet pour leur assistance technique. Nous remercions Sylvain Côté pour des conseils en informatique. Finalement, nous remercions Noubar J. Bostanian et Gaston Mercier de la Station de recherches d'Agriculture et Agro-alimentaire Canada de St-Jean-sur-Richelieu pour avoir fourni des équipements pour cette étude.

Références

- Abu Yaman, I.K. 1960. Natural control in cabbage root fly populations and influence of chemicals. Meded. Landbouwhogeschool Wageningen 60 : 1-57.
- Anonyme 1973. La mouche du chou. Agriculture Canada, Numéro A43-1075F, Information Canada, Ottawa, 9 pp.
- Anonyme 1977. Cabbage root fly. Ministry of agriculture, Fisheries and Food. HMSO Press, Edinburgh 9 pp.
- Anonyme 1982. Légumes: culture. Ministère de l'agriculture du Québec, Conseil des productions végétales du Québec, Québec, p. 38-46.
- Assenheim, H.M., Hill, D.A., Preston, E. et A.B. Cairnie 1980. Effets biologiques des radiofréquences et des micro-ondes. CRNC, publication no 16 449, Ottawa, Ont., 243 pp.
- Berteaud, A.J. & M. Delmotte 1993. Les micro-ondes: de la cuisine à l'industrie. La Recherche 24 : 286-294.
- Chapman, R.F. 1975. The insects, structure and function. American Elsevier Publishing Company Inc., New York, 819 pp.
- Coaker, T.H. & S. Finch 1970. The cabbage root fly, *Erioischia brassicae* (Bouché). Rep. natn. Veg. Stn for 1970 (1971): 23-42.
- Collier, R.H. & S. Finch 1983a. Completion of diapause in field populations of the cabbage root fly (*Delia radicum*). Entomol. exp. & appl. 34 : 186-192.
- Collier, R.H. & S. Finch 1983b. Effects of intensity and duration of low temperatures in regulating diapause development of the cabbage root fly (*Delia radicum*). Entomol. exp. & appl. 34 : 193-200.

Del Estal, P., Vinuela, E., Page, E. et C. Camacho 1986. Lethal effects of microwaves on *Ceratitis capitata* Wied. (Dipt. Trypetidae). J. Appl. Entomol. 102 : 245-253.

Diprose, M.F., Benson, F.A. et A.J. Willis 1984. The effect of externally applied electrostatic fields, microwave radiation and electric currents on plants and other organisms with special reference to weed control. Bot. Rev. 50 : 171-223.

Duncan, J. 1945. Notes biologiques sur la mouche du chou *Hylemia brassicae* (Bouché). 29^e rapport Soc. Pro. Pl. Qué. : 99-100.

Eckenrode, C.J. 1972. A continuing search for effective cabbage maggot control in New York. Search Agriculture 2 : 1-6.

Ferris, R.S. 1984. Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil. Phytopathology 74 : 121-126.

Finch, S. & T.H. Coaker 1969. Comparison of the nutritive values of carbohydrates and related compounds to *Erioischia brassicae* (Bouché). Entomol. exp. & appl. 12 : 441-453.

Finch, S. & R.H. Collier 1984. Parasitism of overwintering pupae of cabbage root fly, *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae), in England and Wales. Bull. Entomol. Res. 74 : 79-86.

Finch, S., Collier, R.H. et G. Skinner 1986. Local population differences in emergence of cabbage root flies from south-west Lancashire: implications for pest forecasting and populations divergence. Ecol. Entomol. 11 : 139-145.

Finlayson, D.G. 1976. Root maggots, their predators and parasites. Canada Agriculture 21 : 19-21.

Fleurat Lessard, F., Lesbats, M., Lavenseau, L., Cangardel, H., Moreau, R., Lamy, M. et P. Anglande 1979. Effets biologiques des micro-ondes sur deux insectes *Tenebrio molitor* L. (Col.: Tenebrionidae) et *Pierris brassicae* L. (Lep.: Pieridae). Ann. Zool. Ecol. Anim. 11 : 457-478.

Gibson, A. & R.C. Treherne 1917. Mouche du chou et les moyens de la combattre au Canada. Ministère fédéral de l'agriculture, Bulletin no 12, 59 pp.

Hartman, T.P.V. & D.I. Southern 1988. An investigation into the variations in the fine surface details of the eggs of five species of *Delia* (Diptera: Anthomyiidae). J. Zool., Lond. 216 : 735-741.

Hennequin, J. & D. Augé 1975. Appréciation des niveaux de résistance de la mouche du chou (*Hylemia brassicae* Bouché) aux insecticides organochlorés et organophosphorés. Phytatrie-Phytopharmacie 24 : 15-24.

Hinton, H.E. 1981. Biology of Insect Eggs. Pergamon Press Ltd., Oxford, vol. 1, p. 163-182.

Liu, L.M., Rosenbaum, F.J. et F.P. Pickard 1975. The relation of teratogenesis in *Tenebrio molitor* to the incidence of low-level microwaves IEE Trans. Microwave. Theor. Tech. MTT 23 : 929-934.

McDonald S. & G. E. Swailes 1975. Dieldrin resistance in *Hylemya brassicae* (Diptera: Anthomyiidae) in Alberta. Can. Entomol. 107 : 729-734.

Missonnier J. 1963. Etude écologique du développement nymphal de deux Diptères Muscides phytophages: *Pegomyia betae* (Curtis) et *Chortophila brassicae* (Bouché). INRA. Annales des épiphyties, vol. 14, n° hors série 1, 186 pp.

Mukerji, M.K. & D.G. Harcourt 1970. Design of a sampling plan for studies on the population dynamics of the cabbage maggot, *Hylemia brassicae* (Diptera: Anthomyiidae). Can. Entomol. 102 : 1513-1518.

Nelson, S.O. 1973. Insect control studies with microwaves and other radiofrequency energy. Bull. Entomol. Soc. Am. 19 : 157-163.

Read, D.C. 1962. Notes on the Life History of *Aleochara bilineata* (Gyll.)(Coleoptera: Staphylinidae), and on its potential value as a control agent for the cabbage maggot, *Hylemia brassicae* (Bouché)(Diptera: Anthomyiidae). Can. Entomol. 94 : 417-424.

Read, D.C. & A.W.A. Brown 1966. Inheritance of dieldrin-resistance and adult longevity in the cabbage maggot, *Hylemya brassicae* (Bouché). Can. J. Genet. Cytol. 8 : 71-84.

Read, D.C. 1970. Controlling the cabbage maggot, *Hylemia brassicae* (Diptera: Anthomyiidae), with chemical pesticides. Can. Entomol. 102 : 667-678.

Swailes, G.E. 1963. Effects of temperature on hatching and on longevity of starved first-instar larvae of *Hylemia brassicae* (Bouché)(Diptera: Anthomyiidae). Can. Entomol. 95 : 878-881.

Swailes, G.E. 1966. Sterilization of the Cabbage Maggot with Apholate. J. Econ. Entomol. 59 : 596-598.

Thayer, D.W. 1985. Application of radiant energy in pest management. Cereal Foods World 30 : 714-721.

Thuéry, J. 1989. Les micro-ondes et leurs effets sur la matière. Deuxième édition, Technique et documentation Lavoisier, Paris, p. 3-26, 313-436 et 483-509.

Varis, A.L. & P. Dalman 1980. The efficacy of lindane and dimethoate against cabbage maggots in Finland. J. Sci. Agric. Soc. Fin. 52 : 7-13.

Vela, G.R., Wu, J.F. et D. Smith 1976. Effect of 2 450 MHz microwave radiation on some soil microorganisms in situ. Soil Sci. 121: 44-51.

Vodinskaya, K.I. 1929. On the biology and ecology of *Hylemia brassicae* Bouché and *H. floralis* Fall. Rev. Appl. Entomol. A 17 : 141-142.

Whistlecraft, J.W., Tolman, J.H. et C.R. Harris 1985. *Delia radicum*. p. 67-73 dans Pritam Singh and R.F. Moore. Handbook of insect rearing., vol. 2, , Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 507 pp.

Sommaire

L'efficacité des micro-ondes pour lutter contre *Delia radicum* L. (Diptera: Anthomyiidae) dans une culture de choux (*Brassica oleracea* var. Stonehead) a été évaluée en laboratoire à l'aide d'un four à micro-ondes industriel ($P = 0$ à 6 kW ; $f = 2450$ MHz) en simulant deux moments d'intervention stratégiques. Au premier moment d'intervention (expérience A), on visait les oeufs à la suite de la transplantation des plantules de chou. Les combinaisons de facteurs à l'essai étaient de 100 à 2 100 W (par incrément de 500) pour des durées de 5, 10, 15, 20 et 25 s. Les traitements 20 x 1 600; 20 x 2 100; 25 x 1 100; 25 x 1 600 et 25 s et 2 100 W ont permis d'inhiber l'éclosion des oeufs ($p \leq 0,001$). Ces traitements causent des effets létaux aux plantules de chou (*Brassica oleracea* var. capitata). Au second moment d'intervention (expérience B), on visait le stade nymphal après la récolte. Les combinaisons de facteurs à l'essai étaient de 1 000 à 4 000 W (par incrément de 1 000) pour des durées de 10, 20, 30 et 40 s. Les traitements 10 x 3 000 et 10 s x 4 000 W sont prometteurs. Ils inhibent l'émergence des pupes ($p \leq 0,001$) et n'ont aucun effet sur les choux. Les résultats démontrent qu'un traitement après la récolte serait préférable à un traitement printanier parce qu'il n'affecterait pas la croissance des plantules de chou mais réduirait l'émergence des adultes pour l'année subséquente.

Tableau 1: Effet des micro-ondes ($f = 2\,450\text{ MHz}$) sur l'inhibition de l'éclosion des oeufs de *Delia radicum*.

Temps (s)	Puissance (W)	n	IE après 8 jours (%)	Sol	
				$T \pm s(^{\circ}\text{C})$	$\text{H}_2\text{O} \pm s (\%)$
5	0 (témoin)	75	27	19 ± 0	2 ± 1
	100	77	36	20 ± 1	2 ± 1
	600	77	36	20 ± 1	2 ± 1
	1100	82	35	22 ± 1	2 ± 1
	1600	81	37	23 ± 1	2 ± 1
	2100	82	51b*	25 ± 2	2 ± 1
10	0 (témoin)	81	20	19 ± 0	2 ± 1
	100	77	36a	20 ± 1	2 ± 1
	600	77	36a	22 ± 1	2 ± 1
	1100	77	36a	25 ± 1	2 ± 1
	1600	78	42b	29 ± 3	2 ± 1
	2100	79	47c	33 ± 4	2 ± 1
15	0 (témoin)	84	35	19 ± 0	2 ± 1
	100	79	37	20 ± 1	2 ± 1
	600	80	29	24 ± 2	2 ± 1
	1100	79	51a	30 ± 3	2 ± 1
	1600	77	36	34 ± 4	2 ± 1
	2100	81	52a	40 ± 4	2 ± 1
20	0 (témoin)	77	29	19 ± 0	2 ± 1
	100	82	29	21 ± 1	2 ± 1
	600	76	45a	26 ± 2	2 ± 1
	1100	76	49a	32 ± 3	2 ± 1
	1600	76	62c	40 ± 5	2 ± 1
	2100	76	89c	49 ± 6	2 ± 1
25	0 (témoin)	81	23	19 ± 0	2 ± 1
	100	75	47b	20 ± 1	2 ± 1
	600	83	45b	26 ± 2	2 ± 1
	1100	78	56c	33 ± 3	2 ± 1
	1600	75	88c	43 ± 5	2 ± 1
	2100	72	100c	54 ± 9	2 ± 1

légende:

n : nombre d'oeufs retrouvés après les traitements

IE : inhibition d'éclosion

s : écart-type

T : température moyenne dans le sol à la fin de l'exposition

H₂O : perte en eau moyenne dans le sol

* Par rapport au témoin d'un même groupe temporel, différence significative à $p \leq 0,05$ (a), $p \leq 0,01$ (b) et $p \leq 0,001$ (c) selon le test du χ^2 .

Tableau 2: Effet des micro-ondes ($f = 2\,450\text{ MHz}$) sur l'inhibition de l'émergence des pupes de *Delia radicum*.

Temps (s)	Puissance (W)	n	IE après 26 jours (%)	Sol	
				T $\pm$ s ($^{\circ}\text{C}$)	H ₂ O $\pm$ s (%)
10	0 (témoin)	58	40	20 $\pm$ 1	2 $\pm$ 0
	1000	60	15b*	26 $\pm$ 2	2 $\pm$ 1
	2000	58	48	35 $\pm$ 4	2 $\pm$ 1
	3000	58	100c	46 $\pm$ 5	3 $\pm$ 1
	4000	60	100c	65 $\pm$ 12	4 $\pm$ 1
20	0 (témoin)	58	38	20 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1
	1000	59	53	34 $\pm$ 4	3 $\pm$ 1
	2000	58	100c	52 $\pm$ 6	3 $\pm$ 1
	3000	59	100c	65 $\pm$ 11	4 $\pm$ 1
	4000	59	100c	89 $\pm$ 8	5 $\pm$ 0
30	0 (témoin)	59	25	20 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1
	1000	59	44a	40 $\pm$ 4	2 $\pm$ 1
	2000	60	100c	63 $\pm$ 9	4 $\pm$ 1
	3000	59	100c	88 $\pm$ 5	5 $\pm$ 0
	4000	57	100c	98 $\pm$ 1	7 $\pm$ 0
40	0 (témoin)	59	29	20 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1
	1000	57	96c	46 $\pm$ 5	3 $\pm$ 1
	2000	57	100c	73 $\pm$ 8	4 $\pm$ 1
	3000	60	100c	96 $\pm$ 2	6 $\pm$ 0
	4000	55	100c	98 $\pm$ 1	9 $\pm$ 1

légende:

n : nombre de pupes retrouvées après les traitements

IE : inhibition d'émergence

s : écart-type

T : température moyenne dans le sol à la fin de l'exposition

H₂O : perte en eau moyenne dans le sol

* Par rapport au témoin d'un même groupe temporel, différence significative à $p \leq 0,05$ (a), $p \leq 0,01$ (b) et $p \leq 0,001$ (c) selon le test du χ^2 .

Tableau 3: Régressions logit de l'effet des micro-ondes ($f = 2\,450\text{ MHz}$) sur l'inhibition de l'éclosion et l'émergence de *Delia radicum*.

Stade	Durée du traitement	Equation	p
oeuf	5	$y = \exp(-0,896\,01 + 0,000367\,x)/(1 + \exp(-0,896\,01 + 0,000\,367\,x))$	0,009 3b
	10	$y = \exp(-0,986\,73 + 0,000\,427\,x)/(1 + \exp(-0,986\,73 + 0,000\,427\,x))$	0,001 6b
	15	$y = \exp(-0,664\,59 + 0,000\,285\,x)/(1 + \exp(-0,664\,59 + 0,000\,285\,x))$	0,014 6a
	20	$y = \exp(-1,078\,3 + 0,001\,194\,x)/(1 + \exp(-1,078\,3 + 0,001\,194\,x))$	0,000 0c
	25	$y = \exp(-0,988\,22 + 0,001\,702\,x)/(1 + \exp(-0,988\,22 + 0,001702\,x))$	0,000 0c
pupe	10	$y = \exp(-1,585\,3 + 0,001\,139\,x)/(1 + \exp(-1,585\,3 + 0,001\,139\,x))$	0,000 0c
	20	$y = \exp(-0,920\,34 + 0,001\,774\,x)/(1 + \exp(-0,920\,34 + 0,001\,774\,x))$	0,000 0c
	30	$y = \exp(-1,670\,2 + 0,002\,128\,x)/(1 + \exp(-1,670\,2 + 0,002\,128\,x))$	0,000 0c
	40	$y = \exp(-0,908\,03 + 0,004\,252\,x)/(1 + \exp(-0,908\,03 + 0,004\,252\,x))$	0,000 0c

légende:

y : probabilité d'inhibition

x : puissance (W)

p : probabilité obtenue pour déterminer la signification du modèle par rapport au modèle nul où tous les paramètres sont nuls.

a : $p \leq 0,05$ significatif

b : $p \leq 0,01$ hautement significatif

c : $p \leq 0,001$ très hautement significatif

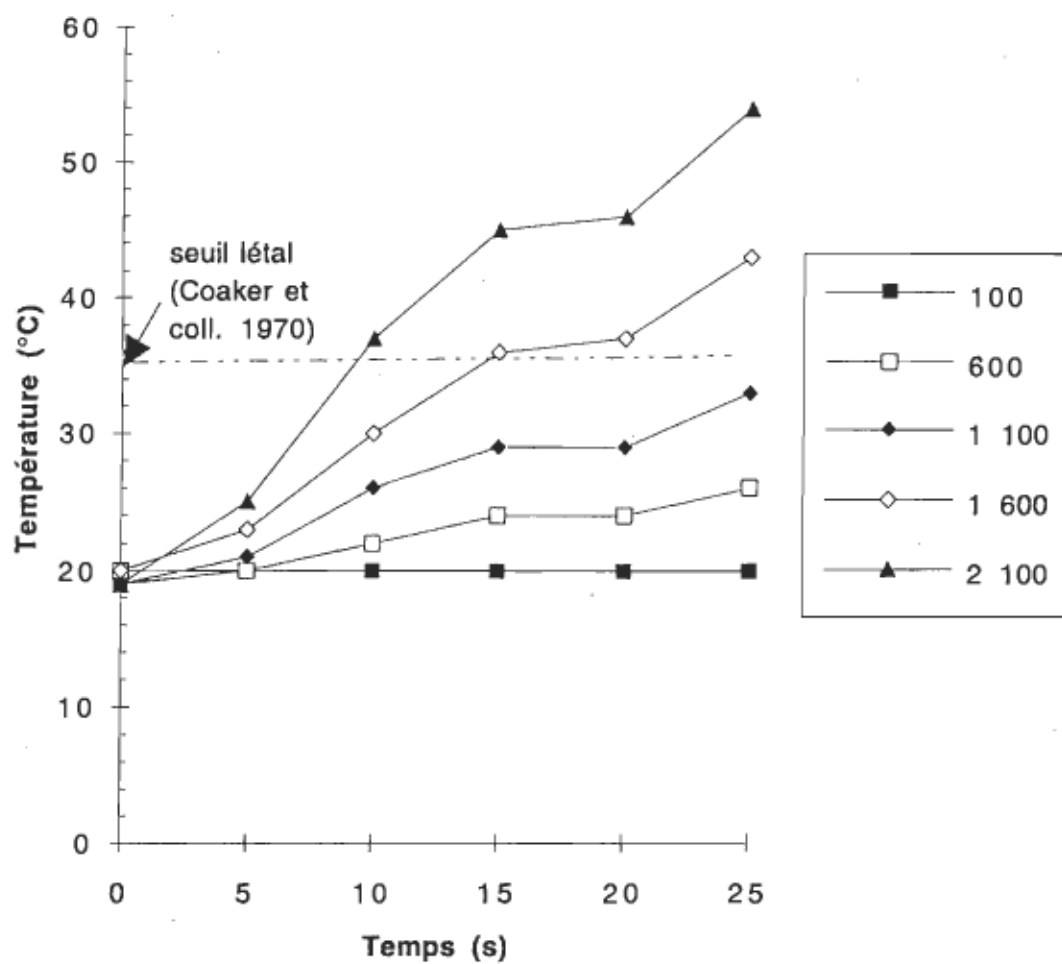


Fig. 1: Température moyenne ($n=26$) du sol en fonction du temps pour cinq niveaux de puissance (W), expérience A.

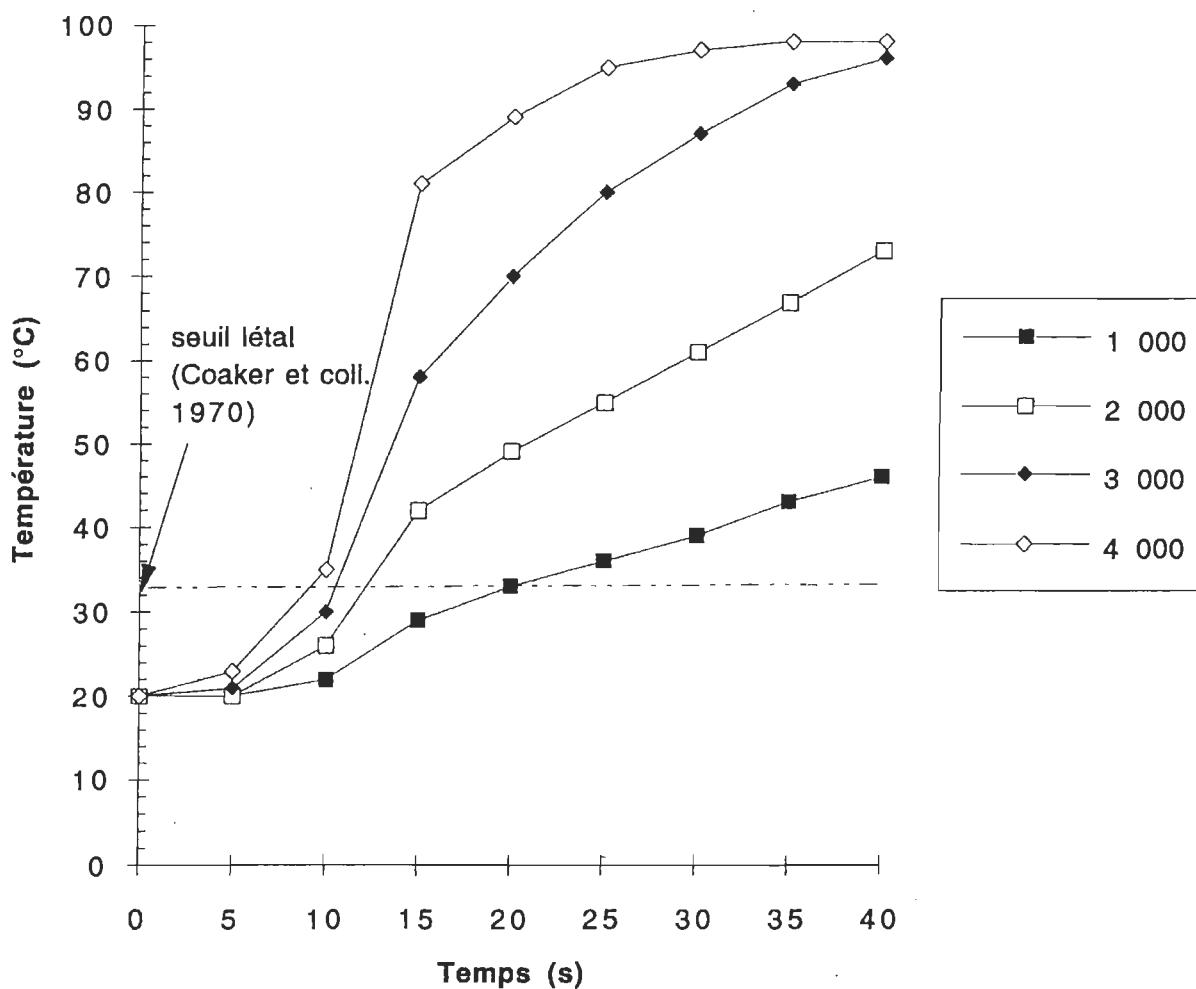


Fig. 2: Température moyenne ($n=21$) du sol en fonction du temps pour quatre niveaux de puissance (W), expérience B.

CHAPITRE 3

EFFETS DES MICRO-ONDES SUR LE CHOU, BRASSICA OLERACEA L. 'STONEHEAD'.

D. Biron*, C. Vincent**, M. Giroux*** et A. Maire*

* Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), Trois-Rivières (Québec), Canada G9H 5H7

** Station de recherches, Agriculture et Agro-Alimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec), Canada J3B 3E6

*** LAIMO (laboratoire d'applications industrielles des micro-ondes), Département de génie électrique et de génie informatique, Ecole polytechnique, Montréal (Québec), Canada H3C 3A7

mots clés: *Brassica oleracea*, *Delia radicum*, lutte physique, micro-ondes

Résumé

Il serait possible d'utiliser les micro-ondes pour inhiber l'éclosion des oeufs de *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae). Les effets des micro-ondes sur la croissance des plantules de chou (*Brassica oleracea* 'Stonehead') ont été évalués en laboratoire à l'aide d'un four à micro-ondes industriel ($P = 0$ à 6 kW ; $f = 2\,450$ MHz) en simulant un traitement printanier. On visait les oeufs de la mouche du chou à la suite de la transplantation des plantules de chou. Les combinaisons de facteurs à l'essai étaient de 100 à 2 100 W (par incrément de 500) pour des durées de 5, 10, 15, 20 et 25 s. Tout traitement inférieur ou égal à 2 500 J d'énergie émise (5 x 100, 10 x 100, 15 x 100, 20 x 100 et 25 s x 100 W) n'a pas nui à la croissance du diamètre des tiges des plantules et n'a pas causé une mortalité significative ($p \leq 0,05$) 912 h après le traitement. Cependant, tout traitement supérieur ou égal à 5 500 J d'énergie émise (5 s x 1 100 W) a causé une mortalité significative des plantules de chou. Les résultats démontrent qu'il serait impossible d'effectuer un traitement printanier contre les oeufs de *Delia radicum* sans affecter la croissance des plantules.

Introduction

Les micro-ondes sont un type d'ondes électromagnétiques non ionisant. Ces ondes chauffent un objet en le pénétrant. A la suite d'une polarisation des molécules d'eau et de lipides à l'intérieur de l'objet exposé, les molécules se réorientent

constamment en fonction de la fréquence d'où un frottement intermoléculaire générant de la chaleur. Ce phénomène est appelé le chauffage à coeur (Berteaud & Delmotte 1993). Les facteurs qui influencent l'absorption des micro-ondes par un objet sont: sa forme, son ordre de grandeur ($1 \text{ mm} \leq \text{objet} \leq 1\text{m}$), ses propriétés diélectriques, son orientation par rapport au champ électrique et magnétique, la fréquence d'exposition, la puissance et la teneur en eau et en lipides (Nelson 1973, Assenheim et coll. 1980).

Depuis deux décennies, des chercheurs ont fait des études pour évaluer le potentiel des micro-ondes en agriculture afin de prévenir les dommages causés par le gel au niveau des cultures (Bosisio et Barthakur 1969), pour le séchage rapide des récoltes (Boulanger et coll. 1969), pour le contrôle des mauvaises herbes (Wayland 1973a, 1975, Diprose et coll. 1984) et pour le contrôle des insectes nuisibles des herbiers et des produits alimentaires entreposés (Hill 1981, Philbrick 1984, Diprose et coll. 1984).

Les mauvaises herbes sont plus susceptibles aux micro-ondes comparativement aux graminées mais la différence n'est pas suffisante pour effectuer un traitement sélectif (Wayland et coll. 1975). Les plantes à feuilles larges sont vraisemblablement plus sensibles aux micro-ondes à cause de leur surface en comparaison aux feuilles des graminées (Diprose et coll. 1984). Parmi toutes les études réalisées sur les micro-ondes, aucune n'a envisagé l'utilisation des micro-ondes pour contrer les ravageurs des cultures.

La mouche du chou, *Delia radicum*, petite mouche de couleur grisâtre, émerge du sol au printemps et dépose ses oeufs près du collet ou sur les feuilles des plantules de chou, *Brassica oleracea* (Caparales: Cruciferae)(Duncan 1945, Anonyme 1973). Les

oeufs éclosent trois à sept jours après la ponte alors les larves s'enfouissent dans le sol et envahissent la partie souterraine de la tige et parfois les racines. Depuis plusieurs décennies, les maraîchers contrôlent les populations de *Delia radicum* avec des insecticides organochlorés et organophosphorés. Cependant, la mouche du chou a développé des lignées résistantes aux insecticides (Read & Brown 1966, Eckenrode 1972, Hennequin & Augé 1975, McDonald & Swailes 1975).

Un moment idéal pour contrôler la mouche du chou avec les micro-ondes semble être lors de la transplantation des plantules de chou parce que les oeufs pondus près du collet ou sur les feuilles sont plus exposés aux micro-ondes comparativement à un plant âgé et parce que la sensibilité aux micro-ondes est proportionnelle à l'âge du plant (Diprose et coll. 1984). L'interrogation à la base de cette étude est: l'énergie (temps d'exposition x puissance) inhibant l'éclosion d'un oeuf aura-t-elle un effet bénéfique ou néfaste sur la croissance d'une plantule de chou, *Brassica oleracea* 'Stonehead' ? Au préalable, nous avons développé la méthodologie par des essais préliminaires réalisés avec un four domestique Quasar MQS-1103H (800 W).

Matériel et méthode

Préparation des plantules de chou

A toutes les deux semaines, deux graines de chou 'Stonehead' ont été placées à une profondeur de 15 mm dans des contenants de polystyrène expansé (matériel neutre aux micro-ondes) de 450 ml remplis avec 450 g de sable pasteurisé. Les contenants étaient déposés dans une chambre de croissance pour une période d'une semaine à 21 °C, 65 % h.r. et à 16 L:8 O. Toutes les plantules ont été soumises à des traitements

similaires lors de leur croissance: arrosage quotidien et fertilisant au besoin (10-52-10 NPK première semaine et 10-20-20 les autres semaines).

Four à micro-ondes

Un four à micro-ondes industriel de Cober Electronics (Stamford, Connecticut, E.U.)($P = 0$ à 6 kW; $f = 2\,450$ MHz) a été utilisé pour effectuer les traitements aux micro-ondes. Le choix de la fréquence était justifié par les faits suivants: 1° le respect des normes imposées par l'American National Standards Institute (ANSI) et le Canadian Standards Association (CSA)(Thuéry 1989); 2° la plupart des études concernant les insectes et les végétaux ont été réalisées à une $f = 2\,450$ MHz (Nelson 1973, Diprose 1984 et Thayer 1985); 3° les effets biologiques et les risques des micro-ondes à une $f = 2\,450$ MHz sont bien documentés (Thuéry 1989). Les dispositifs expérimentaux de notre expérience ont été déposés sous la sortie du guide d'ondes sur une brique neutre aux micro-ondes. Le répartiteur d'ondes était arrêté dans le but d'optimiser l'émission d'ondes perpendiculaires par rapport aux dispositifs expérimentaux.

Traitements aux micro-ondes

Les combinaisons de facteurs étaient de 100 à 2 100 W par incrément de 500 pour des durées de 5, 10, 15, 20 et 25 s. L'ensemble des combinaisons réalisé la même journée constituait un réplicat. Huit réplicats (=8 journées distinctes) ont été faits à environ une semaine d'intervalle. Avant un traitement, 35 plantules de chou ont été choisies au hasard parmi 50 âgées de cinq semaines (norme de transplantation suggérée aux agriculteurs par le MAPAQ) (Anonyme 1982). Trente de ces plantules ont été assignées au hasard à une combinaison de temps et de puissance incluant les témoins. Les cinq autres ont été soumises à 70 °C pendant 24 h pour déterminer le pourcentage

en eau dans le sol avant les traitements. Pour chaque plantule traitée, dix oeufs viables (blancs et turgescents)(Mukerji & Harcourt 1970) et âgés d'au plus 24 h ont été déposés avec un pinceau dans un périmètre de 2 cm par rapport à la tige.

Après les traitements aux micro-ondes, les oeufs ont été retirés du sol avec un pinceau et placés dans des cellules préidentifiées d'une plaque microbiologique. Chaque plantule traitée a été mise en serre pour une période de 912 h à 22 °C jour:16 °C nuit, 65 % h.r. et à 16 L:8 O. Hebdomadairement, le diamètre de la tige au niveau du premier noeud et la mortalité des plantules traitées ont été mesurées. Afin de déterminer la perte moyenne en eau, chaque dispositif expérimental (contenant, sol, eau, plantule) a été pesé avant la mise des oeufs près de la tige de la plantule et après leur traitement.

Mesure de la température du sol

La température du sol a été mesurée durant les traitements à chaque seconde avec quatre thermocouples placés du centre vers l'extérieur des contenants afin d'estimer la température moyenne atteinte dans le sol. Pour deux réplicats, trois thermocouples ont été défectueux. Ainsi, la température moyenne atteinte dans le sol a été évaluée avec 26 mesures.

Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel Statistica 4.0 de Statsoft Inc. fonctionnant en environnement Windows 3.1 de IBM. Pour évaluer l'effet des traitements sur les plantules de chou, les pourcentages de mortalité des plantules ont été comparés à ceux des témoins d'un même groupe temporel avec la méthode exacte de

Fisher (tableau 1). L'établissement de la relation entre la probabilité de mort d'une plantule et les deux facteurs contrôlés (puissance x temps) a été fait avec une régression non linéaire (modèle logit: $y = \exp (b_0 + b_1x_1 + \dots + b_n x_n)/(1 + \exp (b_0 + b_1x_1 + \dots + b_n x_n))$) en utilisant la méthode de calcul du maximum de vraisemblance (Fig. 2). Les algorithmes de Quasi-Newton et de Hookes Jeeves combinés ont permis d'optimiser l'écart entre les valeurs observées et calculées afin d'obtenir les meilleurs paramètres pour la droite de régression non linéaire calculée. La probabilité du modèle nul (L_0), dont tous les paramètres sont à zéro, a été comparée avec celle du modèle calculé (L_1) en utilisant le χ^2 ($\chi^2 = -2 \times (\log (L_0) - \log(L_1))$).

Résultats

Peu importe la période d'observation à la suite des traitements aux micro-ondes, la mortalité des plantules de chou et la diminution de la croissance du diamètre des tiges étaient proportionnelles au temps de traitement et/ou à la puissance utilisée (tableau 1 et 2). Pour chaque période d'observation, un seuil minimal d'énergie émise impliquait une mortalité significative des plantules de chou : 16 000 (10 x 1 600) pour 48; 8 000 (5 x 1 600) pour 240; 5 500 J (5 s x 1 100 W) pour 408, 576, 744 et 912 h (tableau 1).

Les traitements 5 x 600 et 10 s x 600 W n'ont pas nui à la croissance du diamètre des plantules mais ils ont causé respectivement 25 et 75 % de mortalité des plantules 912 h après l'exposition aux micro-ondes (tableau 1 et 2). Cependant, tout traitement inférieur à 2 500 J d'énergie émise (5 x 100; 10 x 100; 15 x 100; 20 x 100 et 25 s x 100 W) n'a pas causé une mortalité significative 912 h après le traitement (tableau 1 et 2).

Les résultats de notre expérience sont conservateurs car le sol utilisé (sable) a un facteur de dissipation ($E''r$) inférieur à ceux des autres types de sol (Thuéry 1989). La teneur moyenne en eau était de 11 %. La perte en eau moyenne du sol a été de 2 ± 1 % pour tous les traitements malgré l'élévation de température importante (≥ 10 °C) pour plusieurs d'entre eux (Fig. 1).

La régression logit de la figure 2 est $z = \exp ((-6,660 \pm 1,192) + ((0,264 \pm 0,053)x + (0,007 \pm 0,001)y) / (1 + \exp ((-6,660 \pm 1,192) + ((0,264 \pm 0,053)x + (0,007 \pm 0,001)y)))$ où z = probabilité de mort de la plantule, x = temps de traitement (s) et y = puissance (W). La probabilité obtenue en comparant ce modèle au modèle nul était de 0,000 0. Ainsi le modèle calculé est une bonne représentation des résultats observés. Il n'est pas directement transposable pour une application en champ car les résultats obtenus en cavité fermée négligent la perte de chaleur du sol traité vers le sol non traité. Cependant, il pourrait servir à cibler la température du sol causant une mort des plantules de chou pour un temps et/ou une puissance prédéterminé(s).

Discussion

Brassica oleracea 'Stonehead' a deux mécanismes principaux pour contrer une élévation interne de la température: 1° les stomates des feuilles; 2° la couche limite de chaque feuille (zone de transfert des fluides (gaz ou liquide) en contact avec une feuille) (Salisbury & Ross 1985). Une élévation de la température interne des feuilles cause une augmentation du taux de respiration résultant en une augmentation interne de CO₂ d'où

la fermeture des stomates. Lorsque la température interne des feuilles est supérieure à celle de l'environnement, l'épaisseur de la couche limite diminue causant une perte de chaleur par une augmentation de la transpiration (évaporation) et de la convection. La vitesse de transfert de chaleur par convection et transpiration est proportionnelle à l'écart de température entre la feuille et l'atmosphère et inversement reliée à l'épaisseur de la zone frontière (Salisbury & Ross 1985).

Deux facteurs résultant de l'action des micro-ondes sur les dispositifs expérimentaux étaient vraisemblablement responsables de la mortalité des plantules de chou. Le premier était la chaleur émise par le sol lors de son échauffement rapide par les micro-ondes (Fig. 1). Cette chaleur était principalement transmise par conduction au système racinaire de la plantule traitée. Il en résultait une augmentation de la température interne de certaines cellules d'où probablement leur déshydratation causant leur mort et/ou un dysfonctionnement du mécanisme d'absorption et d'ascension de l'eau et des nutriments minéraux de la plantule traitée.

Le second était le frottement intermoléculaire des molécules d'eau et de lipides à l'intérieur d'une plantule traitée: ceci générait une production de chaleur interne. La partie la plus sensible à ce phénomène était vraisemblablement les feuilles. Leur surface augmentait la probabilité de contact avec les micro-ondes émises dans la cavité (Diprose et coll. 1984), il en résultait une augmentation rapide de la température interne causant une diminution de l'épaisseur de la couche limite d'où la perte de chaleur intense par transpiration et convection. Les stomates n'ont probablement pas été fermées par les plantules durant les traitements à cause du bref temps d'exposition, d'où l'incapacité

d'empêcher la transpiration causée par les micro-ondes. En ce qui concerne la tige et le système racinaire, la perte de chaleur s'est vraisemblablement faite par transpiration et convection au niveau de l'épiderme.

Ces deux facteurs ont agi simultanément durant les traitements à des valeurs différentes mais croissantes avec le temps. Notre expérience ne permet pas de déterminer lequel de ces facteurs était le plus important. Cependant Ferris (1984) a mis en évidence qu'après traitement aux micro-ondes la température d'un sol décroît progressivement en fonction du temps de traitement et de l'humidité du sol. Le premier phénomène s'est donc prolongé un certain temps après le traitement.

Le niveau d'énergie minimal pour inhiber significativement ($p \leq 0,05$) l'éclosion des oeufs de *Delia radicum* était de 10 500 (5 x 2 100)(D. Biron, données non publiées) comparativement à 5 500 J (5 s x 1 100 W) pour causer une mortalité significative ($p \leq 0,05$) d'une plantule de chou. Cet écart était imputable à l'ordre de grandeur de l'oeuf (mm) et de la plantule (cm)(Berteaud & Delmotte 1993). Une plantule était un meilleur capteur d'ondes à cause de sa surface foliaire et parce que la longueur d'ondes utilisée était de 12 cm (même ordre de grandeur que la plantule). Finalement, lorsque les micro-ondes pénétraient les feuilles d'une plantule, elles génèrent vraisemblablement un frottement intermoléculaire beaucoup plus intense des molécules d'eau et de lipides par rapport à un oeuf à cause de l'amplitude des champs électromagnétiques causés à l'intérieur de la plantule.

Il existe des prototypes d'applicateurs en champ qui ont été utilisés pour contrôler les mauvaises herbes en intervenant sur leurs graines (Thuéry 1989) tel le Zapper III (Phytox Corporation) qui générait une puissance optimale de 30 kW à une $f = 2$ 450 MHz (Diprose et coll. 1984). Davis et ses collaborateurs ont démontré que plus de 17 espèces de mauvaises herbes ainsi que des nématodes et des champignons peuvent être contrôlés avec succès dans un champ pour une période de 12 mois en utilisant les micro-ondes (Diprose et coll. 1984). Cependant, Colpitts et coll. (1992, 1993) ont démontré que les plants de pomme de terre (var. Red Pontiac) sont plus sensibles aux micro-ondes comparativement à leur ravageur, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Notre étude permet d'affirmer qu'il serait impossible d'effectuer un traitement printanier contre les oeufs de *Delia radicum* sans affecter la croissance des plantules de chou, *Brassica oleracea* 'Stonehead'. La protection des récoltes contre les insectes ravageurs en utilisant les micro-ondes ne semble pas prometteur en présence des végétaux.

Remerciements

D. Biron exprime sa gratitude envers le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) dont il était boursier. Nous remercions Antoine Aubin de l'Université du Québec à Trois-Rivières pour des conseils concernant les analyses statistiques. Nous remercions Patrice Leclerc qui a participé aux applications des micro-ondes au laboratoire des applications industrielles des micro-ondes (LAIMO) situé à l'Ecole Polytechnique de Montréal. Nous remercions Carole Brodeur pour la révision de cet article. Nous remercions André Poliquin, Marie-Josée Hotte, Benoît Rancourt et Guy Boulet pour leur assistance technique. Nous remercions Sylvain Côté pour des conseils judicieux en informatique. Finalement, nous remercions Noubar J. Bostanian et Gaston Mercier de la Station de recherches d'Agriculture et Agro-

alimentaire Canada de St-Jean-sur-Richelieu pour avoir fourni des équipements pour cette étude.

Références

- Anonyme 1973. La mouche du chou. Agriculture Canada, Numéro A43-1075F, Information Canada, Ottawa, 9 pp.
- Anonyme 1982. Légumes: culture. Ministère de l'Agriculture du Québec, Conseil des Productions Végétales du Québec, Québec, p. 38-46.
- Assenheim, H.M., Hill, D.A., Preston, E. et A.B. Cairnie 1980. Effets biologiques des radiofréquences et des micro-ondes. CRNC, publication no 16 449, Ottawa, Ont., 243 pp.
- Barber, J.M., Colditz, P. et D. Granberry 1979. Cabbage production. Cooperative Extension Service University of Georgia College of Agriculture/Athens, circulaire 634, 4 p.
- Berteaud, A.J. & M. Delmotte 1993. Les micro-ondes: de la cuisine à l'industrie. La Recherche 24 : 286-294.
- Bosisio, R.G. et N. Barthakur 1969. Microwave protection of a field crop against cold. J. Microwave Power 4 : 190-193.
- Colpitts, B., Pelletier, Y. et D. Sleep 1993. Lethal energy densities of the Colorado Potato Beetle and Potato Plant at 2 450 MHz. J. Microwave & Electromagn. Energy 28 : 132-139.
- Colpitts, B., Pelletier, Y. et S. Cogswell 1992. Complex permittivity measurements of the Colorado Potato Beetle using coaxial probe techniques. J. Microwave & Electromagn. Energy 27 : 175-182.
- Diprose, M.F., Benson, F.A. et A.J. Willis 1984. The effect of externally applied electrostatic fields, microwave radiation and electric currents on plants and other organisms with special reference to weed control. Bot. Rev. 50 : 171-223.
- Duncan, J. 1945. Notes biologiques sur la mouche du chou *Hylemia brassicae* (Bouché). 29^e rapport Soc. Pro. Pl. Qué. : 99-100.
- Eckenrode, C.J. 1972. A continuing search for effective cabbage maggot control in New York. Search Agriculture 2 : 1-6.
- Ferris, R.S. 1984. Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil. Phytopathology 74 : 121-126.

Hall, D.W. 1981. Microwave: a method to control herbarium insects. *Taxon* 30 : 818-819.

Hennequin, J. & D. Augé 1975. Appréciation des niveaux de résistance de la mouche du chou (*Hylemia brassicae* Bouché) aux insecticides organochlorés et organophosphorés. *Phytiatrie-Phytopharmacie* 24 : 15-24.

McDonald S. & G.E. Swailes 1975. Dieldrin resistance in *Hylemya brassicae* (Diptera: Anthomyiidae) in Alberta. *Can. Entomol.* 107 : 729-734.

Mukerji, M.K. & D.G. Harcourt 1970. Design of a sampling plan for studies on the population dynamics of the cabbage maggot, *Hylemia brassicae* (Diptera: Anthomyiidae). *Can. Entomol.* 102 : 1513-1518.

Nelson, S.O. 1973. Insect control studies with microwaves and other radiofrequency energy. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 19 : 157-163.

Philbrick, T.C. 1984. Comments on the use of microwave as a method of herbarium insect control: possible drawbacks. *Taxon* 33 : 73-74.

Read, D.C. & A.W.A. Brown 1966. Inheritance of dieldrin-resistance and adult longevity in the cabbage maggot, *Hylemya brassicae* (Bouché). *Can. J. Genet. Cytol.* 8 : 71-84.

Salisbury, F.B. & C.W. Ross 1985. Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont(California), troisième édition, 540 pp.

Seelig, R.A. 1969. Cabbages., Fruit vegetable facts and pointers, United Fresh & Vegetable Association, Washington, troisième édition, 22 p.

Thayer, D.W. 1985. Application of radiant energy in pest management. *Cereal Foods World* 30 : 714-721.

Thuéry, J. 1989. Les micro-ondes et leurs effets sur la matière. Deuxième édition, Technique et documentation Lavoisier, Paris, p. 3-26, 313-436 et 483-509.

Wayland, J.R., Davis, F.S. et M.G. Merkle 1973a. Toxicity of an U.H.F. fields on plants and seeds of mesquite and beans. *Weed Science* 21 : 161-162.

Wayland, J.R., Davis, F.S., Menges, R.M. and R. Robinson 1975. Control of weed with U.H.F. electromagnetic fields. *Weed Res.* 15 : 1-5.

Tableau 1 : Effet des micro-ondes (f=2 450 MHz) sur la mortalité des plantules (n=8) de chou (var. Stonehead).

Temps (s)	Puissance (W)	Mortalité après 912 h						
		0h	48 h	240 h	408h	576h	744h	912h
5	0 (témoin)	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0
	600	0	0	0	13	25	25	25
	1100	0	0	13	63a*	75a	75a	88c
	1600	0	0	63a	100c	100c	100c	100c
	2100	0	25	75a	100c	100c	100c	100c
10	0 (témoin)	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0
	600	0	0	25	63a	63a	75a	75a
	1100	0	0	25	88c	88c	88c	88c
	1600	0	75a	88c	100c	100c	100c	100c
	2100	0	75a	88c	100c	100c	100c	100c
15	0 (témoin)	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	13	13
	600	0	0	25	63a	75a	88c	88c
	1100	0	75a	88c	100c	100c	100c	100c
	1600	0	75a	100c	100c	100c	100c	100c
	2100	0	100c	100c	100c	100c	100c	100c
20	0 (témoin)	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	13	13	13	13
	600	0	0	88c	100c	100c	100c	100c
	1100	0	75a	100c	100c	100c	100c	100c
	1600	0	88c	100c	100c	100c	100c	100c
	2100	0	100c	100c	100c	100c	100c	100c
25	0 (témoin)	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	13	13	13	13
	600	0	13	88c	100c	100c	100c	100c
	1100	0	75a	100c	100c	100c	100c	100c
	1600	0	100c	100c	100c	100c	100c	100c
	2100	0	100c	100c	100c	100c	100c	100c

légende:

* Par rapport au témoin d'un même groupe temporel, différence significative à $p \leq 0,05$ (a), $p \leq 0,01$ (b) et $p \leq 0,001$ (c) selon la méthode exacte de Fisher.

Tableau 2: Effet des micro-ondes (f=2 450 MHz) sur la croissance du diamètre des tiges des plantules de chou (var. Stonehead).

T (s)	P (W)	0 h				48 h				408 h				912 h			
		n	d	s	C (%)	n	d	s	C (%)	n	d	s	C (%)	n	d	s	C (%)
5	0	8	3,26	0,28	0	8	3,58	0,23	10	8	4,29	0,38	32	8	5,63	0,34	73
	100	8	3,16	0,19	0	8	3,40	0,18	8	8	4,24	0,36	34	8	5,65	0,29	79
	600	8	3,19	0,67	0	8	2,60	1,03	-18	8	3,09	1,56	-3	6	4,30	1,87	35
	1100	8	3,05	0,18	0	8	2,48	0,39	-19	7	2,38	0,81	-22	2	3,45	1,65	13
	1600	8	3,04	0,21	0	8	1,83	0,33	-40	3	1,60	0,73	-47	0	m		
	2100	8	3,18	0,31	0	8	2,34	0,46	-26	2	1,45	0,65	-54	0	m		
10	0	8	3,28	0,19	0	8	3,49	0,26	6	8	4,18	0,28	27	8	5,64	0,40	72
	100	8	3,01	0,29	0	8	3,36	0,35	12	8	3,94	0,22	31	8	5,40	0,55	79
	600	8	3,21	0,34	0	8	2,44	0,59	-24	6	2,57	1,02	-20	2	5,70	0,30	78
	1100	8	3,04	0,37	0	8	2,01	0,39	-34	3	1,53	0,58	-50	1	1,40	0	-54
	1600	8	3,23	0,33	0	8	2,43	0,61	-25	0	m			0	m		
	2100	8	2,95	0,31	0	8	2,50	0,45	-15	0	m			0	m		
15	0	8	3,09	0,34	0	8	3,29	0,42	6	8	4,23	0,33	37	8	5,79	0,44	87
	100	8	3,23	0,43	0	8	3,49	0,29	8	8	3,78	0,51	17	7	5,66	0,71	75
	600	8	2,96	0,44	0	8	1,90	0,48	-36	6	1,60	0,29	-46	1	2,00	0	-32
	1100	8	3,18	0,31	0	8	2,25	0,40	-29	1	0,90	0	-72	0	m		
	1600	8	3,11	0,34	0	8	2,24	0,51	-28	0	m			0	m		
	2100	8	3,08	0,33	0	8	2,30	0,68	-25	0	m			0	m		
20	0	8	3,14	0,36	0	8	3,34	0,36	6	8	4,01	0,32	28	8	5,59	0,34	78
	100	8	3,34	0,34	0	8	3,26	0,47	-2	8	3,89	0,54	16	7	5,50	0,46	65
	600	8	3,21	0,44	0	8	1,81	0,34	-44	0	0,90	0	-72	0	m		
	1100	8	3,1	0,25	0	8	2,38	0,51	-23	0	m			0	m		
	1600	8	3,25	0,21	0	8	1,96	0,45	-40	0	m			0	m		
	2100	8	2,84	0,35	0	8	2,09	0,53	-26	0	m			0	m		
25	0	8	3,26	0,34	0	8	3,38	0,28	4	8	4,21	0,27	29	8	5,80	0,23	78
	100	8	3,15	0,36	0	8	3,25	0,56	3	8	3,81	0,73	21	7	5,30	0,46	68
	600	8	3,14	0,31	0	8	2,21	0,46	-30	1	1,00	0	-68	0	m		
	1100	8	3,24	0,36	0	8	2,24	0,61	-31	0	m			0	m		
	1600	8	3,18	0,26	0	8	2,41	0,66	-24	0	m			0	m		
	2100	8	2,85	0,38	0	8	2,18	0,49	-24	0	m			0	m		

légende:

T : temps d'exposition aux micro-ondes

P : puissance

n : nombre de plantules

d : diamètre moyen de la tige (mm)

s : écart-type

C : croissance moyenne du diamètre des plantules par rapport à la même combinaison (temps x puissance) à 0 h

m : les plantules sont mortes

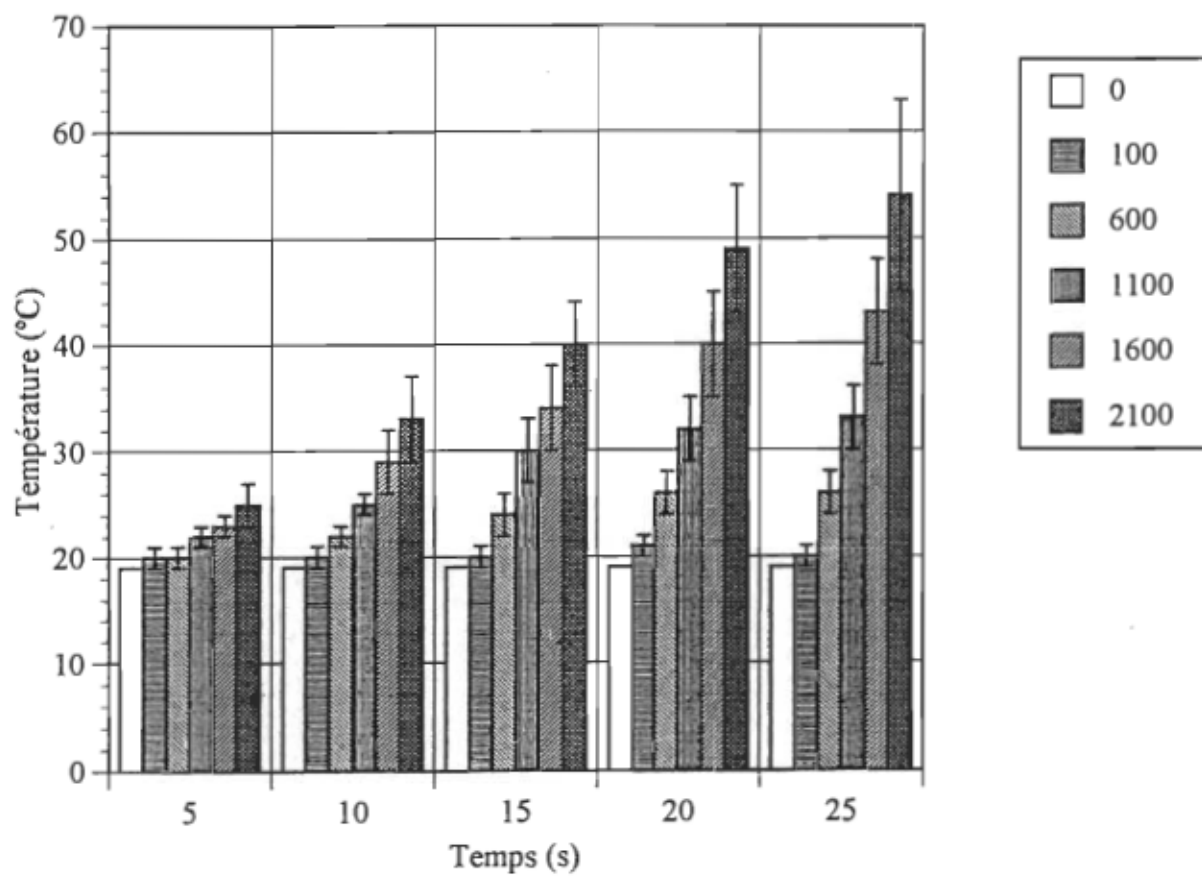


Fig 1: Température moyenne ($n=26$) du sol en fonction du temps pour cinq niveaux de puissance (W).

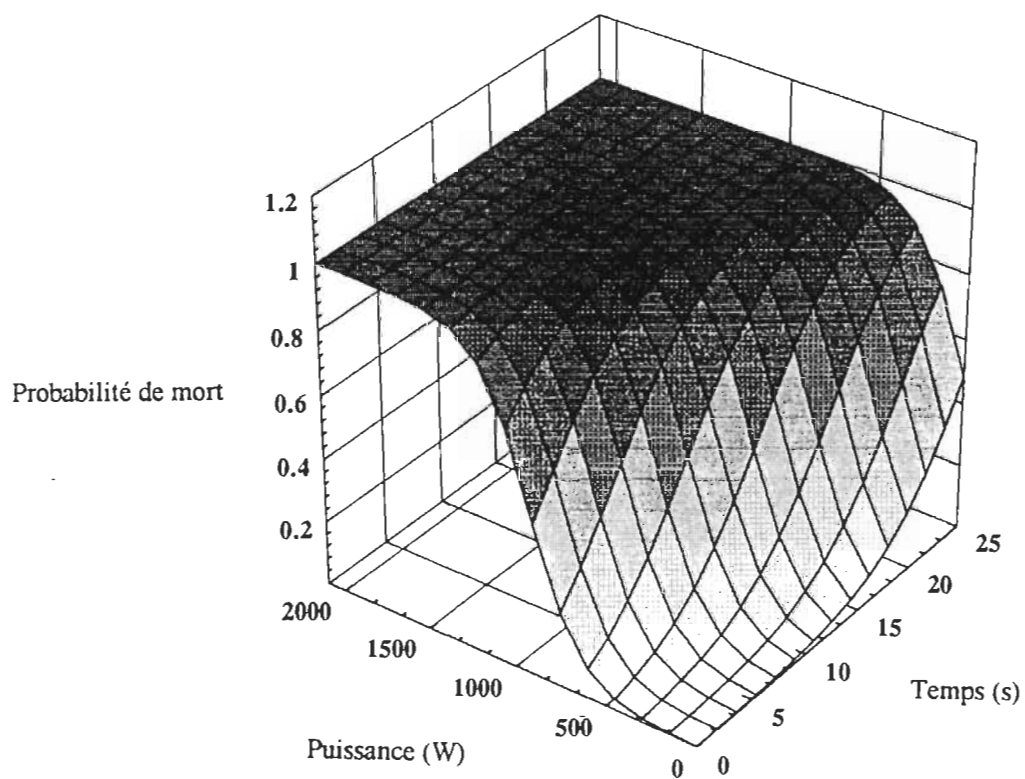


Fig.2: Régression logit décrivant l'effet des micro-ondes ($f = 2\,450$ MHz) sur la probabilité de mort d'une plantule de chou 912 h à la suite d'un traitement.

CHAPITRE 4

CONCLUSION GENERALE

Au premier moment d'intervention, on visait les oeufs pondus peu de temps après la transplantation des plantules de chou. Les traitements 10 x 2 100, 20 x 1 600, 20 x 2 100, 25 x 1 100, 25 x 1 600 et 25 s x 2 100 W ont permis d'inhiber l'éclosion des oeufs ($p \leq 0,001$). Cependant, tout traitement supérieur ou égal à 5 500 J d'énergie émise (5 s x 1 100 W) a causé une mortalité significative ($p \leq 0,05$) des plantules de chou. Tout traitement inférieur ou égal à 2 500 J d'énergie émise (5 x 100, 10 x 100, 15 x 100, 20 x 100 et 25 s x 100 W) n'a pas nui à la croissance du diamètre des tiges et n'a pas causé de mortalité significative ($p \leq 0,05$) des plantules de chou 912 h après le traitement. Au second moment d'intervention, on visait le stade nymphal après la récolte. Les traitements 10 x 3 000 et 10 s x 4 000 W sont prometteurs. Ils inhibent l'émergence des pupes ($p \leq 0,001$) et n'ont aucun effet sur les choux. Il est important de mentionner que les expériences ont été réalisées dans une cavité multimode où le rendement est inférieure à 100 %

Dans une perspective d'application en champ, le premier moment n'est pas envisageable car les traitements prometteurs impliquent une mortalité des plantules de chou. Cependant, il serait possible après la récolte des choux (mi-août à fin août), de traiter le sol avec un appareil produisant des micro-ondes. Cet appareil devrait traiter à une température variant entre 46 et 65 °C à 10 cm de profondeur par 20 cm de largeur au niveau des rangs afin de contrôler les pupes qui se limitent pour la plupart à cette région. Le traitement s'effectuerait au début de la période induisant la diapause. A

cette période de l'année, la plupart des pupes de la population ne seraient pas encore en diapause. Ce type de traitement pourrait être utilisé dans le cadre d'un programme de lutte intégrée.

La perspective d'utilisation des micro-ondes comme moyen de contrôle de *Delia radicum* ne se limite pas à la culture du chou. La mouche du chou s'attaque à d'autres crucifères: chou-fleur, radis et navet. Il serait donc envisageable d'inhiber l'émergence des pupes de *Delia radicum* après la récolte des denrées dans toutes les cultures où ce ravageur est présent. De plus, ce type de moyen de contrôle pourrait être utilisé contre plusieurs insectes ravageurs de la famille des Anthomyiidae (ex.: *Delia antiqua*) ou contre d'autres appartenant à un ordre ou à une famille distinctes de *Delia radicum*.

Les micro-ondes pourraient être utilisées en serre pour traiter le sol avant les semis et/ou après les récoltes afin de contrôler les micro-organismes nuisibles (champignons et bactéries), les acariens phytophages et les insectes ravageurs. Cette technologie pourrait également être considérée pour la culture dans l'espace sur une base planétaire et/ou une station orbitale en remplacement des procédés conventionnels (fumigation, herbicides et insecticides) afin de favoriser un meilleur contrôle de la qualité de l'air. Finalement, des études devraient être réalisées pour déterminer et modéliser les mécanismes physiologiques permettant de contrôler la température interne des organismes lors des traitements aux micro-ondes.

ANNEXES
RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

L'article du chapitre 2 est conforme aux critères éditoriaux de la revue *Entomologia Experimentalis et Applicata* (p. 46) et l'article du chapitre 3 à ceux de la revue *Canadian Journal of Plant Science* (p. 49).

Guidelines for the preparation of manuscripts to be submitted for publication in *Entomologia experimentalis et applicata*

General information

The languages of publication in *Entomol. exp. appl.* are English, French and German.

Generally, the size of the manuscript should not exceed 12 printed pages. Manuscripts which are not accepted for publication are returned only on request and by surface mail.

In view of demand for space, authors are requested to condense their manuscripts as much as possible, especially figures and tables, and to avoid footnotes. The editors reserve the right to adjust style to certain standards of uniformity.

Manuscripts must conform to standard rules of grammar and style. For manuscripts written in English, either British or American spelling may be used, but usage must be consistent throughout the article.

The Council of Biology Editors Style Manual (4th edition, 1978; available from the Council of Biology Editors, Inc., 9650 Rockville Pike, Bethesda, MD 20814, USA) is recommended as a vademecum for matters of style and form.

Three copies of the manuscript should be submitted.

Preparing the manuscript

The manuscript should be organised as follows:

1. *Title.* The title should be short and to the point; omit phrases such as 'Investigation on...', 'Preliminary report of...'; numbered series articles followed by a subtitle are not accepted. Taxonomic affiliation and authority should be given in the abstract, or in the key words, but not in the title. Put under the title: accepted: (to be completed by the editors later).
2. *Addresses.* Full addresses should appear under the names of the author(s); also, the title page should contain the name and address of the person to whom the proofs should be sent.
3. *Key words.* A short list of not more than 8 terms

suitable for indexing should be included.

4. Body of manuscript.

- (a) *Abstract* (short and concise): this should contain the full scientific name, possibly followed by that of the family and tribe of the subject insect(s), along with the full name(s) of food plants, chemicals, etc. The Latin names of insects should be followed by the name of the describer.
- (b) *Introduction:* this part should be directed to the present investigation; avoid giving a review on general aspects of the topic; number of citations should be limited.
- (c) *Methods and materials:* all information has to be given so that it is quite clear how the experiments were done: any interested colleague should be able to repeat the experiments. Details about already commonly used methods and materials must be omitted. Information about the origin of the source of insects, the plants, the rearing, etc., is necessary.
- (d) *Results* are usually presented in tables and figures, and the text must provide a further explanation. Tables and figures should only be used for detailed information. Avoid repeating data from tables and figures in the text (see also later on).
- (e) *Discussion and/or conclusion:* here more citations may be given, and the finding can be discussed in relation to what already is known. Scientific as well as practical implications can be mentioned. Within the limit of space, the author has some freedom to express his own opinion, even if editors or referees differ with him.
- (f) *Summary:* a more extensive summary in one of the other languages should be given. The summary may also be given in the language of the article and will then be translated by the editors.
- (g) *References to the literature:*

1. For citations in the text: use name and year system; e.g. Adam (1983) or (Adam, 1983); for two authors, use the ampersand (&); e.g. Adam & Eve (1982); for more authors, use *et al.*; e.g. Adam *et al.* (1983) or (Adam *et al.*, 1983). Use initials in cases such as W. Brown (1982) and M. Brown (1983), and if referring to a personal communication: (A. B. Adams pers. comm.). For unpublished results, use: Unpubl., e.g. A. B. Adams, unpubl.). The latter two categories, however, cannot be put in the reference list.
2. For citations in the reference section: list each reference alphabetically on the first author's last name; if a single author has more than one contribution, list each chronologically; in cases of more than one author, list each reference alphabetically on 2nd, 3rd, etc. author's names. With compound names, the following conventions are to be used: Vanderbilt or Van der Bilt (USA, UK, Belgium); Bilt, van der or Bülow, von (Dutch, German).
Publications in preparation or submitted, cite 'in prep' in the text. If accepted for publication, mention year of publication and volume of the journal and 'in press'.
3. Examples:
Prokopy, R. J. & E. D. Owens, 1983. Visual detection of plants by herbivorous insects. *Ann. Rev. Entomol.* 28: 337–364.
Cornwell, P. B., 1968. *The Cockroach*, Vol. 1. Rentokil Library, Hutchinson, London: 391 pp.
Taylor, T. A., 1978. *Maruca testulalis*: an important pest of tropical grain legumes. In: S. R. Sing, H. F. van Emden & T. Ajibola Taylor (eds), *Pest of Grain Legumes: Ecology and Control*. Academic Press, New York: 454 pp.
- (h) Acknowledgements, both to persons and Institutions supporting, and announcements of series numbers of university contribution should be as short and concise as possible in an acknowledgement section located at the end of the article but before the references.
- (i) Tables: these are more expensive to typeset than text, and therefore, should be submitted only where really necessary. Data in tables and figures should not be duplicated. They should be numbered consecutively in Arabic numerals, bear descriptive headings and be presented individually on separate sheets. If many tables cover similar results, try to combine them. Statistical significances should be indicated with small letters after the data with a note of explanation under the table. Remember that, in English, data with decimals are written 2.3 and, in some other languages, as 2,3. Usage of more decimals than necessary should be avoided.
- (j) Drawings: do not send the originals of line drawings; xerox copies are sufficient, and reproducible figures can be sent after acceptance of the manuscript. Drawings are less expensive to print than tables, but the number should also be restricted and combining drawings under one caption must be considered. Figure legends should be grouped together on a separate sheet.
- (k) Photographs: these should be submitted in triplicate with the manuscript. Do not send xerox copies of photographs, because they are of inferior quality.
- (l) Approximate locations of tables and figures should be given in the left-hand margin of the manuscript.
- (m) Table and figure legends: these should be concise. Manuscripts written in French or German should be accompanied by an English translation of the legends.
- (n) When a scientific name of an animal or a plant is used for the first time in an article, it should be stated in full, and the name of the author of that name should also be given. In subsequent citations, the genus name may be abbreviated to its first letter followed by a period.
5. *Units, symbols and abbreviations*. These should conform to the standards of the International system of Units (S.I.).
 - (a) a list of the Most Common S.I. Units and Their Symbols.
 - (b) Other important abbreviations: male, σ ; female, φ ; light-dark regimes, L18:D6; relative humidity, r.h.; standard error, s.e.; standard deviation, s.d.

	Unit	Symbol
Length:	kilometer	km 10^3
	meter	m
	centimeter	cm 10^{-2}
	millimeter	mm 10^{-3}
	micrometer	μm 10^{-6}
	nanometer	nm 10^{-9}
Mass:	kilogramme	kg
	gramme	g (not gm)
	milligramme	mg
	nanogramme	ng
Area:	square kilo- meter	km ² (not sq km)
	square cen- timeter	cm ² (not sq cm)
Volume:	liter	l
	centiliter	cl
	milliliter	ml (not cm ³ or cc)
Time:	year	not ab- breviated
	day	not ab- breviated
	hour	h (not hr)
	minute	min
	second	s (not sec)
Temper- ature:	centigrade	°C

- (c) Dates: use day-month system and spell month out in full (e.g. 3 May, not 5/3 (USA) or 3/5).
- (d) Chemical compound structures, and complicated equations should be submitted as line drawings.

Mailing manuscripts

Contributors are requested to send their manuscripts to the Editorial Office (address, see below), or to one of the editors. For names and addresses see the inside cover page of journal.

Proofs

Page proofs should be returned to the Editorial Office as quickly as possible (within 3–5 days of receipt). Delay in returning the proofs can result in a delay in publication.

Offprints

Fifty offprints will be offered to the author free of charge. More copies can be obtained at the rate indicated on the order form of the Publisher accompanying the proofs.

Addresses

Editorial Office
c/o Department of Entomology
Agricultural University
P.O. Box 8031
6700 EH Wageningen, The Netherlands

Publisher
Kluwer Academic Publishers
Spuiboulevard 50/ P.O. Box 17
3300 AA Dordrecht, The Netherlands

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

Articles publiés dans *Canadian Journal of Animal Science*, *Canadian Journal of Plant Science* et *Canadian Journal of Soil Science* (Révision juillet 1986). For English version, Notice to Authors, see previous issue.

INSTRUCTIONS GÉNÉRALES

L'affiliation à l'Institut agricole du Canada ou à l'une de ses sociétés affiliées n'est pas un pré-requis pour la soumission d'un manuscrit à ces revues. Les articles et les notes doivent être accompagnés de résumés anglais et français. Lorsque l'un des résumés manque, la rédaction se charge de faire la traduction moyennant un coût modique payable par l'auteur ou l'organisme dont il relève.

CONTENU. La rédaction accepte de prendre en considération tout texte scientifique renfermant des données nouvelles de portée nationale ou internationale dans les domaines de la zootechnie, de la phytotechnie et de la science des sols. À l'occasion, les sociétés affiliées peuvent solliciter des mises au point bibliographiques. Les lettres au rédacteur peuvent expliquer ou commenter les travaux publiés dans la revue.

SOUMISSION DU MANUSCRIT. Envoyer l'original et trois photocopies sur papier à lignes numérotées au Rédacteur du Journal (voir en deuxième page de couverture). Lorsqu'on utilise une machine de traitement de texte, choisir une imprimante de qualité "courrier". Les manuscrits doivent être soumis au Journal en exclusivité.

COÛT. Les frais de publication sont de 50\$ par page, plus le coût des illustrations et des tableaux. Les tirés-à-part sont fournis à prix modique. Ce prix est communiqué à l'auteur quand on lui envoie les épreuves. Les retouches excessives apportées aux épreuves sont facturées aux auteurs.

MOTS-CLÉS ET TITRE ABRÉGÉ. Les auteurs doivent inclure une liste de mots ou d'expressions-clés. La liste ne devrait pas dépasser six mots ou expressions de deux à trois mots, tirés du titre, du résumé ou du corps de l'article. Elle doit renfermer le nom de l'espèce animale ou végétale en question. Les auteurs doivent également fournir un titre abrégé d'au plus 55 caractères.

PROTECTION DES ANIMAUX. Les auteurs doivent certifier que les animaux ont été traités selon des directives similaires à celles établies par le Conseil canadien de protection des animaux (Manuel sur le soin et l'utilisation des animaux d'expérimentation). On peut se procurer ces directives en s'adressant au Conseil, pièce 1000, 151 rue Slater, Ottawa (Ontario) Canada, K1P 5H4.

LE MANUSCRIT

Articles scientifiques

GÉNÉRALITÉS. Avant de rédiger son manuscrit, consulter un numéro récent des revues et adopter le même plan de présentation. Rédiger les articles dans un style littéraire de qualité en utilisant pour l'orthographe des dictionnaires reconnus comme le Larousse, le Robert, etc. Nous recommandons fortement à tous les auteurs de soumettre leur manuscrit à un ou deux collègues qui en feront un examen critique avant la soumission du texte final au rédacteur.

TITRE. Tout en étant concis, il fera état des aspects importants du mémoire et contiendra des mots-clés qui faciliteront la recherche mécanographique.

RÉSUMÉ. Il présentera en 200 mots au maximum les aspects essentiels de chaque partie de l'article.

PLAN. La plupart des articles seront rédigés d'après le plan suivant: INTRODUCTION, MATÉRIEL ET MÉTHODES ou PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL, RÉSULTATS, DISCUSSION, REMERCIEMENTS et RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES. Pour les sous-titres, consulter les instructions pour les secrétaires. N'utiliser les renvois au bas de la page que pour indiquer l'institution dont relève l'auteur ou pour expliquer un tableau.

NOMBRES ET MESURES. Utiliser des chiffres arabes quand un nombre précède une unité normale de mesure, p. ex. 1 g, 9 j. Dans les autres cas, écrire les nombres de 0 à 9 en toutes lettres et ceux de 10 et plus, en chiffres. Présenter les données expérimentales en unités métriques. (Voir le tableau des unités métriques acceptées dans le présent numéro ou dans un numéro récent du Journal.)

ABRÉVIATIONS. Pour les termes courants, s'inspirer des revues antérieures. Pour les autres, l'abréviation suivra, entre parenthèses, le terme à sa première apparition et sera par la suite utilisée seule tout au long du texte.

NOMS ET TERMES SCIENTIFIQUES OU TECHNIQUES. Souligner les noms scientifiques des organismes et n'inclure les patronymes que pour ceux qui auront fait l'objet du travail de recherche. Décrire par leur nom de cultivar les variétés agronomiques et utiliser les guillemets simples lorsque le nom du cultivar suit le nom scientifique, ex.: *Hordeum vulgare* 'Laurier'. Normalement, on utilisera le nom commun pour les espèces végétales et animales. Dans le cas des espèces végétales qui font l'objet de la recherche, le nom commun sera suivi du nom scientifique à sa première apparition dans le texte. Les pesticides seront cités par leur nom commun accepté. S'il n'en existe pas, donner le nom chimique complet lors de la première apparition dans le texte.

STATISTIQUES. Donner une description succincte du protocole adopté pour l'analyse statistique. L'analyse et le sommaire des données se font à partir des méthodes statistiques acceptées. Porter une attention particulière à la façon d'utiliser les comparaisons multiples. Une indication de la variabilité expérimentale (p. ex., erreur-type, écart-type) doit être donnée dans la présentation des résultats quantitatifs (voir la lettre à l'éditeur, Can. J. Plant Sci. 60: 325-327, Jan. 1980).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES. Ne citer que les ouvrages pertinents, en évitant les citations multiples. Confronter chaque référence de la bibliographie avec l'article original. Dans le texte, mentionner la référence par le nom de l'auteur suivi de l'année de la parution. Lorsqu'il y a plusieurs auteurs, seul le premier est mentionné suivi de "et coll.". Les articles "sous presse" sont inclus dans la liste bibliographique (indiquer le nom de la revue et la date prévue de publication) tandis que des références à des manuscrits en préparation, des données non publiées et des communications personnelles sont incluses dans le texte suivies des mentions "manuscrit en préparation", "données non publiées" et "communication personnelle".

Pour l'abréviation des titres des périodiques, se rapporter à un numéro courant de BIOSIS, *List of Serials, with Title Abbreviations* (Bioscience Information Service of Biological Abstracts, 211 Arch. St., Philadelphia, PA 19102, U.S.A.). Vérifier et révéifier la pagination, le n° du volume et la date de parution.

TABLEAUX. Pour la préparation des tableaux, s'inspirer des numéros récents des revues. Par exemple, le titre d'un tableau doit être complet et compréhensible par lui-même. Ne tracer aucune ligne verticale. En outre, quand on présente des résultats quantitatifs, y joindre une mesure de variabilité statistiquement acceptable (voir *Statistiques*). Indiquer les renvois au bas du tableau avec les signes †, ‡, §, ¶, //, ††, etc. Tous les tableaux doivent être cités dans le texte, être numérotés et porter un court titre.

ILLUSTRATIONS. On peut soumettre des dessins originaux ou des photographies de grande qualité de ces dessins. Leurs dimensions ne doivent généralement pas dépasser le double du format définitif de leur présentation dans le Journal, et doivent pouvoir entrer dans une colonne, deux colonnes ou une page entière. Les lettres, majuscules ou minuscules, doivent toutes avoir la même taille et atteindre au moins 1,5 mm de haut dans leur dimension définitive. Les inscriptions paraissant dans les graphiques doivent être parallèles aux axes de ces derniers. Pour les abréviations, les unités, etc., s'inspirer d'un numéro antérieur du Journal. Les photographies, qui doivent être sensiblement du format de leur présentation dans le Journal, doivent être en noir et blanc et bien contrastées. Les illustrations uniques (dessins ou photographies) ne doivent pas être montées, mais les figures composées peuvent être montées sur un carton rectangulaire (ne pas laisser d'espaces blancs entre les parties; ces espaces seront ajoutés lors de l'impression). Utiliser des majuscules pour indiquer les subdivisions. Les photographies en couleur sont acceptées mais les auteurs devront défrayer la totalité du coût de leur reproduction. Pour de plus amples informations sur la façon de soumettre des illustrations en couleurs, communiquer avec le Bureau de la rédaction. Chacun des quatre exemplaires du manuscrit doit contenir une série complète d'illustrations: il faut une série d'originaux plus trois autres d'assez bonne facture pour l'examineur. Toutes les illustrations doivent porter au dos le nom de l'auteur principal et le numéro de l'illustration marqués au crayon. Les illustrations produites à l'aide d'une imprimante par points ne sont pas acceptées.

Notes

Les notes servent à présenter un bref compte rendu préliminaire de constatations importantes. N'excédant généralement pas 2000 mots, elles peuvent comporter des résultats de recherches terminées, mais de portée plutôt restreinte, des descriptions de cultivars, de techniques ou d'appareils nouveaux, appuyées de données sur le rendement. Elles ne doivent contenir que quelques références bibliographiques (d'ordinaire pas plus de neuf). Pour la forme à adopter, consulter un numéro récent du Journal. L'iconographie est restreinte au minimum: pas plus d'un tableau ou d'une figure. Le résumé, obligatoire, ne doit pas compter plus de 50 mots. On peut obtenir auprès de l'Institut agricole du Canada les formules types de présentation de descriptions de cultivars.

INSTRUCTIONS POUR LES SECRÉTAIRES

Le texte définitif du manuscrit, envoyé au rédacteur en chef de la revue, renfermera le moins de corrections possible. Avant de commencer la frappe finale, il est conseillé de lire les recommandations aux auteurs et également de feuilleter un numéro de la revue. Se rapporter à la revue quand il y a un doute à propos de la dactylographie ou de la disposition du texte. Apporter un soin particulier à la présentation des tableaux et des figures.

Utiliser du papier à lignes numérotées de format 21.6 × 27.9 cm et dactylographier à double interligne le texte, les tableaux et les légendes des figures. Toutes les pages sont numérotées, le texte d'abord, puis les références bibliographiques, les légendes des figures et enfin les tableaux. Faire relire le texte par l'auteur et soumettre en quatre exemplaires.

Instructions particulières

PRÉSENTATION GÉNÉRALE. Pour les notes, s'inspirer d'un numéro récent de la revue. Pour les articles, dactylographier le titre et les résumés sur des pages séparées. La page titre ne contiendra que le titre du mémoire, le titre abrégé et les noms du ou des auteurs et de l'établissement dans lequel les recherches ont été effectuées. La page des résumés ne portera que les résumés et les mots clés. Le reste du texte sera continu. Les tableaux, identifiés par leur numéro et leur titre, seront disposés chacun sur une page distincte.

TITRE. Le titre de l'article et les grands titres sont dactylographiés en majuscules, au centre de la page. Pour les sous-titres, la disposition sera la suivante: premiers sous-titres, à l'extrême gauche de la page, sur une ligne séparée, mots principaux en majuscules; deuxième sous-titres, extrême gauche de la page, sur la même ligne que le texte, premier mot en majuscules, fermer par un point; troisième sous-titres, extrême gauche, même ligne que le texte, premier mot en majuscules, souligner et fermer par un tiret.

PONCTUATION SPÉCIALE. Mettre un point après "et coll." (sans souligner), pas de virgule entre le nom du ou des auteurs et l'année de parution; pas de point après le titre d'un tableau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES. Dactylographier le nom de tous les auteurs, suivi des initiales du (des) prénom(s).

Exemples d'unités métriques acceptées dans le Journal

Quantité	Application	Unité	Symbole ou expression de l'unité
Taux d'absorption d'une dose	Plantes/bétail	gray par seconde	Gy s ⁻¹
Superficie	Terres	hectare	ha
	Feuilles	centimètre carré	cm ²
Concentration	Engrais	kilogrammes par hectare	kg ha ⁻¹
	Solutions	microgrammes par gramme grammes par litre ou moles par litre	µg g ⁻¹ g L ⁻¹ ou mol L ⁻¹
Densité	Sols	mégagrammes par mètre cube	Mg m ⁻³
Conductivité électrique	Tolérance des sels	décisiemens par mètre	dS m ⁻¹
Taux d'allongement	Plantes	centimètres par jour	cm j ⁻¹
Production d'éthylène	Fixation de l'azote	nanomoles par plante par seconde	nmol plante ⁻¹ s ⁻¹
Conductivité hydraulique	Écoulement de l'eau	mètre par jour	m j ⁻¹
Taux de croissance	Plante	grammes par mètre carré par jour	g m ⁻² j ⁻¹
Espace interplanétaire	Structure minérale de l'argile	nanomètre	nm
Echange d'ions	Sols (capacité d'échange de cations)	cmoles (+) par kilogramme	cmol (+) kg ⁻¹
Transport d'ions	Absorption d'ions	moles par kilogramme par seconde	mol kg ⁻¹ s ⁻¹
Longueur	Profondeur du sol	mètre	m
Lumière	densité du flux de photos (400-700 nm)	micromoles par mètre carré par seconde	µmol m ⁻² s ⁻¹
Taux de photosynthèse	Densité du CO ₂ absorbé	milligrammes par mètre carré par seconde	mg m ⁻² s ⁻¹
Pression	Potentiel hydrique	kilopascal	kPa
Radioactivité	Sols, plantes	becquerel	Bq ou s ⁻¹
Chaleur spécifique	Emmagasinement de la chaleur	joules par kilogramme par kelvin	J kg ⁻¹ K ⁻¹
Température	Sols et plantes	celsius ou kelvin	°C ou K
Volume	Solutions	litre mètre cube	L m ³
Rendement	Cultures	tonnes par hectare grammes par mètre carré	t ha ⁻¹ g m ⁻²
	Masses de la plante	grammes par plante ou partie de plante	g par plante ou g par grain

Les unités qui comportent deux diviseurs sont indiquées avec des indices négatifs (p. ex., kg ha⁻¹ s⁻¹). L'utilisation de la barre oblique (/) est réservée aux unités écrites en toutes lettres (p. ex., mole/kilogramme) ou pour séparer une quantité physique d'une unité (p. ex., rendement/ha).

Les unités doivent être choisies de manière que l'élément numérique tombe entre 1 et 10 ou entre 1 et 100 lorsqu'on utilise un ou deux chiffres significatifs respectivement (p. ex., utiliser 31,2 mg plutôt que 0,0312 g).

Dans la mesure du possible, éviter d'utiliser les pourcentages (%) sauf dans des cas précis tels que le pourcentage de superficie, le pourcentage de population, etc.