

## REEMPLACER LE BROMURE DE MÉTHYLE : QUELQUES PERSPECTIVES EUROPÉENNES.<sup>1</sup>

Francis Fleurat-Lessard (1), Paul Fields (2) et Jean-Marc Le Torc'h

(1) Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherches de Bordeaux

Laboratoire des Insectes des Denrées stockées,

B.P. 81, 33883 Villenave d'Ornon Cedex, France

Téléphone : 56 84 32 90, Courriel : francis.fleurat-lessard@bordeaux.inra.fr

(2) Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de Recherches sur les Céréales,

195, chemin Dafoe, Winnipeg (Manitoba) R3T 2M9,

Téléphone : (204) 983-1468, Courriel : pfields@em.agr.ca

### RÉSUMÉ

L'ensemble de l'Europe utilise environ 1 000 t de bromure de méthyle par année pour l'assainissement des installations; ce sont les pays du Sud, l'Espagne, la France, l'Italie et la Grèce, les plus grands consommateurs. Cette présentation propose quelques exemples concrets de substituts au bromure de méthyle, mis à l'épreuve actuellement en Europe dans des conditions industrielles, ainsi que les coordonnées des personnes qui ont effectué les essais et des suggestions pour adapter ces méthodes à la situation canadienne.

Depuis plusieurs décennies, on étudie en laboratoire la possibilité de fumiger au dioxyde de carbone, si bien qu'on l'a utilisé plusieurs fois dans la lutte contre les insectes de l'industrie alimentaire. Cependant, ce produit demeure plus lent à agir et plus coûteux que la phosphine ou le bromure de méthyle. En conséquence, le Laboratoire des denrées stockées à Bordeaux a examiné la combinaison dioxyde de carbone et pression élevée. En collaboration avec MG SIAC (France), une chambre hyperbare a été conçue et fabriquée, après de nombreuses expériences préliminaires en laboratoire. L'enceinte, qui peut accommoder 32 palettes de produit, (le contenu d'une semi-remorque) est conçue pour récupérer au moins 85 % du gaz utilisé. La pression s'élève à 19 atmosphères en 90 minutes, y est maintenue pendant 60 minutes et prend une trentaine de minutes pour la décompression. Le cycle complet de chargement, de fumigation et de déchargement dure environ quatre heures. Pour vérifier l'efficacité de l'appareil, des adultes de *tribolium* et des larves de la teigne des fruits secs ont été répartis dans le produit à traiter, des sacs de nourriture pour animaux familiers. Aucune des 1 600 teignes des fruits secs, et aucun des 3 200 *triboliums*, n'a survécu à la fumigation. L'appareil a coûté environ 850 000 \$CAN à construire et le traitement revient à 300 \$CAN. C'est le premier cas de fumigation au dioxyde de carbone réalisé à l'échelle industrielle.

En Allemagne, depuis 1993, le bromure de méthyle est limité aux cas spéciaux, ce qui a stimulé une recherche active de produits de remplacement. Récemment, le fluorure de sulfuryle ( $\text{SO}_2\text{F}_2$ , Altarion<sup>MC</sup>, DowElanco Vikane<sup>MC</sup>) y a reçu son homologation pour remplacer en partie le bromure de méthyle pour la fumigation de locaux ou de matériel qui n'ont aucun contact avec les aliments (musées, églises, objets d'art). Pour réduire la quantité de gaz utilisée, une calculatrice portative a été conçue, qui détermine la dose requise. Elle tient compte de l'insecte

<sup>1</sup>Présenté à l'Atelier sur les alternatives au bromure de méthyle, Toronto, Canada, les 30 et 31 mai 1996, p.83-90.

cible, de son stade de développement, du volume à traiter, de la durée de la fumigation, de la température, du degré d'étanchéité de l'édifice et de la vélocité du vent. Le dioxyde de carbone a déjà servi, lui aussi, à fumiger des églises entières. Le traitement de l'édifice bâché exige quelques semaines et plusieurs tonnes de CO<sub>2</sub>. C'est une méthode efficace dans la lutte contre les perceurs de bois, mais dont les coûts sont plus élevés que les fumigations habituelles.

Un groupe de chercheurs scandinaves a démontré que le traitement par la chaleur localisée est efficace contre les insectes des moulins de broyage dans les minoteries. Des conduits flexibles dirigent la chaleur jusque dans les moulins enclos de bâches thermiques. Les températures maximales, qui ont varié entre 60° et 80° C ont été mortelles pour tous les insectes placés dans les machines. Puisque le réchauffement n'a pris que quatre heures, on propose cette technique pour éliminer les insectes des zones à risque élevé, au lieu d'arrêter la production plusieurs jours, comme pour la fumigation au bromure de méthyle.

Certaines minoteries italiennes ont employé le piégeage de masse ou des procédés attracticides pour réduire de moitié le nombre de fumigations au bromure de méthyle. En Italie, le déprédateur principal, dans les minoteries, est la teigne de la farine (*Ephestia kuehniella*). En répartissant des pièges à phéromone de haute capacité un peu partout dans une minoterie, à raison d'un piège par 260 à 280 m<sup>3</sup>, les populations de teigne de la farine ont baissé sur trois ans. Par la méthode attracticide, on a également pu réduire les populations d'insectes de façon significative. Un distributeur de phéromone est associé à un insecticide, la cyperméthrine; les mâles sont attirés vers l'appât et reçoivent une dose létale d'insecticide en se posant sur le piège. Cependant, ces méthodes n'ont pas encore été éprouvées contre des insectes à phéromone d'agrégation, tels le tribolium (*Tribolium castaneum*) et le tribolium brun (*Tribolium confusum*), espèces qui sont d'importants ravageurs des minoteries et des usines de transformation des aliments au Canada.

## REEMPLACER LE BROMURE DE MÉTHYLE : QUELQUES PERSPECTIVES EUROPÉENNES.<sup>2</sup>

Francis Fleurat-Lessard (1), Paul Fields (2) et Jean-Marc Le Torc'h

(1) Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherches de Bordeaux  
Laboratoire des Insectes des Denrées stockées,  
B.P. 81, 33883 Villenave d'Ornon Cedex, France

Téléphone : 56 84 32 90, Courriel : francis.fleurat-lessard@bordeaux.inra.fr

(2) Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de Recherches sur les Céréales,  
195, chemin Dafoe, Winnipeg (Manitoba) R3T 2M9,  
Téléphone : (204) 983-1468, Courriel : pfields@em.agr.ca

### INTRODUCTION

Avant l'adoption du bromure de méthyle, dont l'usage s'est généralisé en Europe après la Seconde Guerre mondiale, plusieurs techniques ont servi à la lutte contre les insectes dans les usines de transformation des aliments. Dès le XVI<sup>e</sup> siècle, on applique la chaleur contre l'altération des céréales, *sitotroga cerealella*, dans les moulins français (Oosthuizen, 1935). L'ensilage sous terre est une des principales méthodes de conservation à long terme de grandes quantités de grain, utilisée par la plupart des civilisations céréalières. On sait qu'il existait des silos souterrains dès la période mésolithique (9000 à 7000 av. J.-C.), tant au Moyen Orient qu'en Europe depuis 4500 av. J.-C. (Sigaut 1980).

En 1991, l'ensemble de l'Europe (à l'exception de l'ex - U.R.S.S.) achète 18 521 t de bromure de méthyle. La plus grande partie de ce produit (80 %) sert à la fumigation des sols; le reste à la fumigation des installations et des denrées. En 1992, on utilise, pour désinsectiser les locaux, les quantités approximatives suivantes de bromure de méthyle : en Espagne 397 t; en France 176 t; en Italie 150 t; en Grèce 90 t; en Allemagne 70 t; au Royaume Uni 55 t; en Belgique 30 t; aux Pays Bas 27 t; en Irlande 18 t; en Suède 17 t; en Norvège 11 t; en Finlande 7 t; au Danemark 5 t (Banks, 1995). En comparaison, pour la même année, le Canada utilise 130 t pour la fumigation de locaux. (Figure 1.) Tous les principaux usagers du bromure de méthyle en Europe sont signataires du Protocole de Montréal, et devront en réduire la consommation de 25 % d'ici 2001 et de 50 % d'ici 2005, pour atteindre une élimination totale en 2010. Certaines « utilisations essentielles » pourraient demeurer, telles la quarantaine ou certains cas pour lesquels aucune solution de remplacement adéquate n'aura été trouvée. Notons que certains pays européens ont l'intention de supprimer graduellement le bromure de méthyle avant l'an 2010.

Cet exposé propose quelques exemples concrets de solutions de rechange pratiquées actuellement en Europe à titre expérimental mais dans des conditions industrielles. Vous y trouverez aussi les coordonnées des personnes qui les ont mises en œuvre et des suggestions pour adapter ces méthodes à la situation canadienne.

### LE DIOXYDE DE CARBONE HYPERBARE EN FRANCE

On connaît déjà bien les propriétés insecticides du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) à pression

atmosphérique normale, sous bâche ou dans une enceinte de fumigation et il y a de nombreuses applications contre les insectes des denrées stockées (Banks et Fields 1995). Cependant, le gazage au CO<sub>2</sub> est beaucoup moins utilisé que celui aux fumigants traditionnels comme le bromure de méthyle (CH<sub>3</sub>Br) ou la phosphine (PH<sub>3</sub>). La raison en est que le CO<sub>2</sub> présente deux inconvénients qui le rendent plus coûteux que les deux autres produits cités : il demande en effet une fumigation plus longue et des concentrations de gaz plus élevées. Le traitement peut ainsi prendre entre trois jours et plusieurs semaines, selon la température et l'insecte à détruire, et il exige des concentrations supérieures à 60 %, soit 2000 g/m<sup>3</sup>. Les fumigations au bromure de méthyle ne prennent généralement qu'un à deux jours et ne réclament que 32 - 48 g/m<sup>3</sup>.

Puisque le bromure de méthyle fait l'objet de restriction d'emploi, nous (Fleurat-Lessard et Le Torc'h) en même temps que le groupe de travail allemand sur les denrées stockées<sup>3</sup>, avons examiné l'emploi du CO<sub>2</sub> hyperbare (entre 10 et 20 atmosphères) comme substitut au gazage à l'aide de bromure de méthyle. Comme la fumigation se fait dans une enceinte sous pression, cette méthode vise les insectes dans les aliments transformés et la nourriture animale en emballage non étanche, ainsi que les artefacts de musée et les objets d'art.

Essais de laboratoire.

Les premiers essais ont démontré que le fait d'augmenter la pression du CO<sub>2</sub> de 1 à 20 atmosphères réduit de 18 jours à 4 heures le temps requis pour détruire les larves de charançon du blé (*sitophilus granarius*) (Le Torc'h et Fleurat-Lessard 1990, Prozell et Reichmuth 1990). Depuis le succès des premiers tests, les chercheurs se sont tournés vers d'autres insectes, plus typiques des aliments transformés, denrées visées par ce procédé. On a placé des œufs, des larves et des adultes de tribolium (*Tribolium castaneum*), de dermeste (*Dermestes maculatus*) et de teigne des fruits secs (*Plodia interpunctella*) dans une enceinte sous pression, pour ensuite y prélever des échantillons et en vérifier le taux de survie de ces insectes à intervalles réguliers. Les pupes n'ont pas servi à l'essai puisque, dans un pré-test, elles s'étaient révélées plus vulnérables qu'aux autres stades de leur vie.

Le tableau 1. montre les durées minimales nécessaires pour éliminer les insectes. Chez le tribolium, l'œuf est apparu comme le stade le plus résistant, exigeant plus de quatre heures à 10 atmosphères et une heure à 19 atmosphères. D'autres insectes à d'autres stades se sont montrés plus vulnérables.

Un autre essai a été réalisé en utilisant de l'air sous pression à la place du CO<sub>2</sub>. Les dermestes adultes atteignaient un taux de mortalité de 93 % et les adultes de la teigne des fruits secs de 100 % après deux heures à 19 atmosphères, mais les larves et les œufs des trois espèces n'avaient subi aucune perte dans les mêmes conditions.

<sup>3</sup>Christoph Reichmuth, Biologische Bundesanstalt für Land-und Forstwirtschaft, Köningen-Luise-Strasse 19, 14195 Berlin, Allemagne, téléphone +49 30 8304 261, Fax : + 49 30 8304 284, Reichmuth et Wohlgemuth 1994.

TABLEAU 1. DURÉE MINIMALE DE FUMIGATION AU CO<sub>2</sub> NÉCESSAIRE POUR DÉTRUIRE DIVERS INSECTES À UN STADE DONNÉ

Insecte	Stade	Durée (min.)			
		Pression du CO <sub>2</sub> (atmosphères)			
		10	13	16	19
Tribolium	œuf	>240	env.240	120	60
	larve	240	120	120	45
	adulte	240	90	90	15
Dermeste	œuf	>240	60	<60	30
	larve	240	90	30	45
	adulte	240	90	60	45
Teigne des fruits secs	œuf	>240	45	<60	<45
	larve	120	60	30	15
	adulte	120	45	30	15

Essais pilotes avec prototype.

Un autoclave pilote a été construit, d'une capacité de 0,75 m<sup>3</sup>, capable de simuler le cycle complet du traitement sous forte pression, (en particulier l'augmentation rapide de la pression jusqu'à 11 ou 16 atmosphères puis stabilisation à 19 atmosphères), puis le prototype a été testé. L'autoclave était relié à une série de 11 bouteilles à gaz qui contenaient 160 atmosphères de CO<sub>2</sub> et à un réchauffeur devant injecter le gaz dans l'enceinte. Le CO<sub>2</sub> y était introduit dans la partie inférieure et les sacs de nourriture animale, infestés au préalable, ont été placés à divers niveaux, dans le but d'évaluer le degré de stratification du gaz. L'air de la chambre n'avait pas été purgé avant l'injection du CO<sub>2</sub>, ce qui a entraîné une réduction légère de la concentration (environ 1/19). C'est peut-être pour cette raison que certains œufs de tribolium ont survécu dans la partie supérieure. Pour corriger cette erreur, l'autoclave industriel a été conçu de sorte qu'on le purge au moyen d'un volume de CO<sub>2</sub> avant la mise sous pression; de plus, on y introduit le gaz par plusieurs points d'entrée.

Les tests pilotes ont aussi établi à quelle vitesse les changements de pression pouvaient se faire pour que les emballages les tolèrent. L'emballage du premier paquet de nourriture animale mis à l'essai était trop étanche, si bien qu'il s'est souvent déchiré sous l'effet des changements rapides de pression. Le remède a consisté à lui substituer un emballage plus poreux tout en réduisant la rapidité des variations de pression.

## Essais à l'échelle industrielle

L'autoclave industriel a un volume utile de 80 m<sup>3</sup>, ce qui permet de traiter 32 palettes de nourriture animale à la fois, soit l'équivalent de la charge d'un camion de transport. L'appareil commercial a été conçu et construit par MG SIAC. <sup>4</sup> (Figure 2.) Lors du cycle de traitement normal, les palettes sont introduites dans la chambre qui est scellée puis purgée par un volume de CO<sub>2</sub> (Figure 3). Le gaz y est ensuite injecté pendant les 90 minutes qu'il faut pour atteindre 19 atmosphères. Cette pression est maintenue pendant 60 minutes, après quoi il faut 30 minutes pour dégazer. Le cycle complet, (chargement, fumigation et déchargement), prend à peu près quatre heures. Le désir de minimiser les pertes de CO<sub>2</sub> à chaque fumigation complique les opérations de gazage et de dégazage. On récupère le gaz grâce à un système breveté comprenant deux réservoirs à CO<sub>2</sub> et un compresseur.

Pour vérifier l'efficacité de l'appareil, des adultes du tribolium et des larves de la teigne des fruits secs furent introduits dans le produit à traiter, des sacs de nourriture pour animaux familiers, répartis à plusieurs endroits de l'enceinte. Aucun des 3 200 triboliums ni des 1 600 teignes des fruits secs n'a survécu au gazage.

En ce moment, l'appareil exécute six fumigations par jour, à un coût d'environ 300 \$CAN pour l'électricité et les 300 à 400 kg de CO<sub>2</sub> requis pour chaque traitement. Sa construction en a coûté environ 850 000 \$CAN en 1995, (500 000 euros en 1999). Le fabricant de nourriture pour animaux familiers, Royal Canin, a l'intention d'en bâtir deux autres, ce qui lui permettra de traiter le contenu de 15 semi-remorques par jour. Le premier autoclave remplace huit appareils de fumigation à la phosphine qui exigeaient trois jours par traitement. Ce système conviendrait à tout aliment conditionné ou à toute nourriture animale sous emballage non étanche, et aux produits de grande valeur dont le fabricant exige un traitement rapide ainsi que la garantie que le produit est exempt de parasites.

## FUMIGATION AU FLUORURE DE SULFURYLE ET AU DIOXYDE DE CARBONE : ALLEMAGNE

Depuis 1993, l'Allemagne ne permet l'emploi du bromure de méthyle qu'en certains cas particuliers, alors la recherche de substituts y a été active. Récemment, le fluorure de sulfuryle (SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, noms de marque Altarion<sup>MC</sup>, Dow Elanco Vikane<sup>MC</sup>) y a été homologué pour remplacer partiellement le bromure de méthyle pour la fumigation des espaces vides sans contact alimentaire. Aux États-Unis, le fluorure de sulfuryle sert depuis de nombreuses années, surtout contre les termites qui attaquent les maisons, mais en Allemagne, il sert à la fumigation d'objets d'art dans les églises et les musées (Figure 4). Dans ces situations, les principaux insectes nuisibles sont des perceurs de vieux bois (par ex. *Hylotrupes bajulus*) et des dermestes (*Dermestes maculatus*, et divers *Anthrenus*) qui peuvent se nourrir d'une grande variété de matières organiques (peaux, cuir, jouets en peluche, laine etc.) Le fluorure de sulfuryle a plusieurs avantages sur le bromure de méthyle dans la lutte contre les perceurs de bois des objets d'art. Il n'endommage pas la

<sup>4</sup> M. C. Henry, MG - AIRGAZ, 84, rue Charles-Michels, 932206 Saint-Denis, France, téléphone : +33 149 33 70 00, télécopie : +33 148 20 35 81.

couche d'ozone; il n'est pas cancérigène; il ne pénètre pas la peau; il est de 2 à 3 fois moins toxique pour les mammifères et peu soluble dans l'eau; il est inerte; il ne réagit pas avec la peinture et les dorures; il pénètre bien le bois et il se désorbe rapidement. Ses désavantages, comme tout autre fumigant, découlent du fait qu'il est très toxique pour les humains, ce qui exige une prudence extrême au moment de son application, tout en étant moins toxique pour les œufs d'insectes que le bromure de méthyle.

Pour minimiser la quantité de fluorure de sulfuryle utilisée, une calculatrice portable a été conçue, qui détermine la dose minimale nécessaire. Elle tient compte de l'insecte cible; de son stade de développement; du volume de l'espace à traiter; de la durée du traitement; de la température; du degré d'étanchéité de l'édifice et de la vélocité du vent. Jusqu'à un certain point, l'utilisateur peut réguler ces variables. On peut améliorer le calfeutrage de l'édifice pour le rendre plus étanche, on peut élever la température (bien que cette pratique soit à déconseiller pour les œuvres d'art, qui peuvent craquer en se déshydratant), on peut prolonger le traitement ou le remettre à plus tard si les vents sont élevés et on peut réduire le volume à gazer en gonflant des ballons à l'intérieur de l'édifice.

L'azote et le dioxyde de carbone ont aussi servi à la fumigation d'objets d'art et même d'églises entières<sup>5</sup>. Ces gaz sont inertes, mais ils ont le désavantage d'exiger de plus longues périodes d'exposition, ainsi que des concentrations plus élevées que le bromure de méthyle ou le fluorure de sulfuryle, ce qui rend leur utilisation beaucoup plus coûteuse que ces fumigants traditionnels. Pour les objets que l'on peut déplacer, les chambres de fumigation offrent la solution la plus simple. Pour ceux qui ne se déplacent pas, des chambres portatives peuvent être installées autour de l'objet. Celles-ci peuvent être flexibles (mais il y a alors plus de gaz perdu) ou rigides (elles sont dans ce cas plus difficiles à transporter et à ériger). Lors de fumigations partielles, il est essentiel de vérifier qu'il n'y a aucune autre infestation, susceptible de contaminer l'objet après le gazage, ailleurs dans l'édifice. Des églises entières ont été traitées au dioxyde de carbone (Figure 5 et 6). L'église est scellée comme pour une fumigation normale, recouverte d'une bâche moulante composée de sections multiples, le CO<sub>2</sub> y est introduit à partir de citernes de camion, des réchauffeurs élèvent la température du CO<sub>2</sub> liquide jusqu'à la température intérieure de l'église, puis le CO<sub>2</sub> est humidifié, pompé, puis répandu dans l'église et enfin maintenu à une concentration de 60 % pendant deux à six semaines. On contrôle la température, l'humidité relative et les concentrations de CO<sub>2</sub> et d'oxygène afin de déterminer la quantité de gaz et de vapeur d'eau qu'il faut injecter à un moment donné. Le volume intérieur à traiter est réduit en bourrant l'église de ballons gonflés. La bâche sert à réduire les pertes de gaz et de vapeur d'eau, mais malgré le travail important de scellage et de réduction de volume, la fumigation d'une église requiert plusieurs tonnes de CO<sub>2</sub>. Les longues semaines qu'exige ce traitement sont nécessaires pour que le gaz carbonique ou l'azote se diffuse jusque dans le bois. Dans les usines de manutention des aliments, ce problème serait moins important et les durées pourraient alors être considérablement réduites.

<sup>5</sup>Gerhard Binker, Binker Materialschutz GmbH, Am Vogelherd 6, 8501 Schwaig 2, téléphone : +49 911 507 50 11, télécopie : + 49 911 507 57 82.

## TRAITEMENT PAR LA CHALEUR LOCALISÉ : SUÈDE ET NORVÈGE

Les pays nordiques (la Finlande, la Suède, la Norvège, l'Islande et le Danemark) se sont engagés à éliminer complètement l'usage du bromure de méthyle à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1998, exception faite des cas de pré-expédition et de quarantaine (Banks 1995). Ainsi, en mars 1995, un groupe de chercheurs a été formé<sup>6</sup> dans le but d'examiner l'emploi de la chaleur pour remplacer le bromure de méthyle dans le traitement des usines de transformation des aliments.

En plus de mener les essais préliminaires du traitement thermique d'étages entiers, ils ont mis au point une méthode qui localise la chaleur dans les moulins à cylindres (Norstein 1996) (Figure 7). De nombreuses infestations des minoteries se situent dans les moulins, en raison de la multitude de fentes et de fissures, difficiles à nettoyer. Puisqu'ils touchent le grain, ils ne peuvent être traités par un insecticide de contact. Une rangée de six moulins à cylindres a été équipée de conduits flexibles, un par paire de cylindres de broyage. La rangée entière a été couverte d'une bâche, afin de retenir la chaleur à l'intérieur de l'appareil. Un brûleur à mazout, d'une capacité de 427 kW, muni d'un ventilateur capable de déplacer 10 000 m<sup>3</sup> /h a servi de source de chaleur. Cet appareil reste à l'extérieur de la minoterie, mais des conduits flexibles apportent l'air chauffé au moulin. La température dans les moulins atteint un minimum de 60 °C pendant au moins une heure et un maximum de 80 °C pendant au moins une heure. En tout, l'unité de chauffage fonctionne pendant quatre heures. Tous les insectes placés dans les cylindres (*Tribolium destructor*, larves et adultes; diverses espèces de *Trogoderma*, larves; et *Oryzaephilus surinamensis*, larves et adultes) étaient morts après le traitement. Quatre mois plus tard, la minoterie n'avait pas connu de problème technique relié au traitement des moulins par la chaleur et avait moins d'insectes que celles qui n'avaient pas été traitées.

Les chercheurs recommandent de ne pas chauffer les surfaces au-delà de 70 °C, température maximale approuvée pour un isolant électrique en PVC. Compte tenu de la longueur du conduit utilisé, la chaleur devait atteindre 130 °C à la sortie de l'appareil de chauffage. Il est essentiel de bien nettoyer le moulin avant de traiter à la chaleur, parce que la farine et les résidus de nourriture sont de très bons isolants thermiques. Les chercheurs estiment qu'au départ le traitement d'une minoterie entière par la chaleur coûterait environ deux fois plus cher que celui au bromure de méthyle, mais ils sont confiants que ces coûts baisseront à mesure qu'ils se familiariseront avec la méthode.

Le traitement localisé a l'avantage d'être rapide, de traiter les zones à risque élevé et de réduire la quantité de chaleur à produire. Il a l'inconvénient d'une part de ne pas éliminer tous les insectes à la fois dans la minoterie, ce qui permet la réinfestation après le traitement et, d'autre part, d'exiger l'installation de bâches calorifuges au-dessus de l'équipement à traiter.

## LES PHÉROMONES CONTRE LES LÉPIDOPTÈRES DE MINOTERIE : ITALIE

<sup>6</sup>Chef de projet : Stein Norstein, Anticimex AS, Postboks 56, Abelsø, 1105 Norvège, téléphone : +47 22 29 50 10, télécopie : + 47 22 29 50 20

Un grand nombre des insectes qui attaquent les produits entreposés ont des phéromones, substances volatiles qui, émises par un insecte, changent le comportement d'un autre insecte (Burkholder et Ma 1985). En général, les coléoptères des denrées stockées ont des phéromones d'agrégation, produites par le mâle adulte pour attirer des adultes, mâles et femelles. Les lépidoptères typiques des denrées stockées n'ont pas ces phéromones d'agrégation, mais les femelles adultes ont plutôt une phéromone sexuelle qui attire les mâles. Plusieurs de ces substances ont été identifiées et sont en vente dans le commerce.<sup>7</sup> Allier les phéromones à des pièges crée un outil efficace pour la détection d'infestations cachées et pour le contrôle des populations d'insectes ravageurs. On s'en est aussi servi, mais moins souvent, pour réduire directement les populations d'insectes des forêts, des vergers et des cultures maraîchères, soit en perturbant l'accouplement (les mâles ne peuvent trouver les femelles), soit par piégeage en masse (les mâles sont enlevés dans les pièges), soit par la méthode « attracticide » (les mâles sont attirés vers un dispositif qui contient une dose létale d'insecticide de contact).

Pasquale Trematerra<sup>8</sup> a dirigé l'équipe qui a démontré que les populations de la teigne de la farine, *Ephestia kuehniella*, peuvent être réduites en utilisant soit le piégeage en masse ou la technique attracticide (attirer pour tuer) dans le cadre d'un programme sanitaire complet (Trematerra 1994).

À partir du mois d'avril 1987 jusqu'en novembre 1989, une grande minoterie (quatre étages, 20 000 m<sup>3</sup>, dont la production était de 125 t de farine/jour) a utilisé le piégeage en masse pour diminuer les populations de teigne de la farine (Figure 8). En calculant un piège au 260 à 280 m<sup>3</sup>, on a placé dans la minoterie soixante-sept pièges coniques de haute capacité, portant comme appât 2 mg de TDA (Z9E12 - 14Ac, composant principal de la phéromone de l'insecte cible) (Figure 9). On a vidé les pièges toutes les deux semaines et changé les appâts de phéromone toutes les 10 à 12 semaines. En plus des pièges, la minoterie a reçu une fumigation au bromure de méthyle chaque année en avril, au lieu des deux fumigations annuelles, et un effort particulier a été apporté au nettoyage des résidus de farine. Une autre minoterie de la même région a servi de témoin. Celle-ci maintenait les deux fumigations par an au bromure de méthyle, l'une en avril et l'autre en août ou en septembre.

La minoterie qui a combiné piégeage, programme sanitaire et une seule fumigation a vu le nombre d'insectes baisser continuellement aussi bien dans les pièges qu'au repos, sur les murs et dans les machines (insectes en liberté). Il y avait aussi moins de fragments d'insectes dans la farine. Cette régulation des parasites était aussi bonne, sinon meilleure que celle effectuée dans la minoterie qui utilisait deux fumigations par an au bromure de méthyle.

<sup>7</sup>PheroTech Inc., 7572 Progress Way, R.R. 5, Delta (Colombie-Britannique) V4G 1E9, Canada, téléphone : (604) 940-9944, télécopie : (604) 940-9433; Insects Limited, 10540 Jessup Blvd. P.O. Box 40641, Indianapolis IN, 46280 -1451 États-Unis, téléphone (317) 846-5344, télécopie (317) 846-9799.

<sup>8</sup> Dipartimento di Scienze Animali, Vegetali e dell'Ambiente, Università degli Studi del Molise, Via Cavour 50, Campobasso Italie, téléphone / télécopie +39 874 98743.

TABLEAU 2. PIÉGEAGE DE MASSE ET UNE FUMIGATION ANNUELLE CONTRE LA TEIGNE DE LA FARINE

Année	Insectes piégés n°/piège/année	Insectes en liberté (%)	Débris d'insectes
1987	240	3,4	sous le seuil
1988	62	2,3	sous le seuil
1989	39	2,3	sous le seuil

Extrait de Trematerra (1990) et de données non publiées (Trematerra).

Puisque le piégeage à lui tout seul ne pouvait pas éliminer le besoin de fumigation, Trematerra (1994) a envisagé d'utiliser un procédé attracticide. Cette méthode consiste à placer 2 mg de phéromone (TDA) sur un côté d'un distributeur laminaire et de l'autre côté, 10 mg de cyperméthrine, un insecticide pyréthroïde de contact. Les distributeurs sont posés sur les murs, à environ 2 m du plancher, à raison d'un pour 220 à 280 m<sup>3</sup>. Les mâles, attirés par la phéromone, se posent sur le dispositif, où ils reçoivent une dose létale d'insecticide. Dans la minoterie non traitée, on a piégé jusqu'à 400 lépidoptères mâles en deux semaines, tandis que dans celle qui utilisait la méthode attracticide, on n'a jamais eu plus de 20 mâles pour une même période.

Depuis la réussite des essais, plusieurs minoteries italiennes ont adopté ces moyens de lutte. Les méthodes de piégeage et du procédé attracticide ont le désavantage de ne viser qu'une seule espèce à la fois. Jusqu'à maintenant, ces méthodes n'ont été éprouvées qu'avec la teigne de la farine (Trematerra 1994), la teigne des fruits secs (*Plodia interpunctella*, Pierce 1994) et la vrillette du tabac (*Lasioderma serricornis*, Pierce 1994), pour lesquels seule la phéromone sexuelle a été utilisée. Ces techniques n'ont pas encore été essayées contre les espèces ayant des phéromones d'agrégation, tels le tribolium (*Tribolium castaneum*) et le tribolium brun (*Tribolium confusum*), tous deux parasites importants des minoteries et des autres usines de transformation des aliments.

Remerciements : Nous tenons à remercier Gerhard Binker, Patrick Ducon, Håkan Kjellberg, Stein Norstein et Pasquale Trematerra, qui nous ont fourni des renseignements malgré de très courtes échéances.

## RÉFÉRENCES

BANKS, J. 1995. 1994 Report of the methyl bromide technical options committee . United Nations Environment Programme.

BANKS, J. et P. FIELDS 1995. Physical methods for insect control in stored-grain ecosystems p. 353-409 in D.S. Jayas, N.D.G. White et W.E. Muir ( eds.), Stored-Grain Ecosystems. Marcel Decker, Inc. New York.

BURHOLDER, W. et M. MA. 1985. Pheromones for monitoring and control of stored-product

insects. *Ann. Rev. Entomol.* 30 : 257-272.

LE TORC'H, J. et F. FLEURAT-LESSARD. 1990. Effet des fortes pressions sur l'efficacité insecticide des atmosphères modifiées par CO<sub>2</sub> contre *Sitophilus granarius* (L.) et *S. oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). in F. Fleurat-Lessard et P. Ducom (eds.), Proc. Fifth Int. Working Conf. Stored-Product Prot., Bordeaux, France. p. 847-856.

NORSTEIN, S. 1996. Heat treatment in the Scandinavian Milling Industry : Heat treatment as an alternative to methyl bromide. *SFT Miljøteknologi 96*, in press. Norwegian Pollution Control Authority.

OOSTHUIZEN, M.J. 1935. The effect of high temperature on the confused flour beetle  
Minnesota Technical bulletin, 107 : 1.

PROZELL, S. et C. REICHMUTH. 1990. Response of the granary weevil *sitophilus granarius* (L.) (Col.: Curculionidae) to controlled atmospheres under high pressure. in F. Fleurat-Lessard et P. Ducom (eds.). Bordeaux, France. Proc. Fifth Int. Working Conf. Stored-Product Prot. p. 911-918.

REICHMUTH, C. et R. WOHLGEMUTH. 1994. Carbon dioxide under high pressure of 15 bar and 20 bar to control the eggs of the Indianmeal moth *Plodia interpunctella* (Hüber) (Lepidoptera : Pyralidae) as the most tolerant stage at 25° C. in E. Highley, E.J. Wright, H.J. Banks and B.R. Champ (eds.), Proc. Sixth Int. Working Conf. Stored-Product Prot., Canberra, Australia. p. 163-172.

SIGUEAT, F. 1980. Significance of underground storage in traditional systems of grain production, in J. Shejbal (ed.), Controlled Atmosphere Storage of Grains. Elsevier Co., New York. p.3-14.

TREMATERRA, P. 1994. The use of sex pheromones to control *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Mediterranean flour moth) in flour mills by mass trapping and attracticide (lure and kill) methods. in E. Highley, E.J. Wright, H.J. Banks and B.R. Champ (eds.), Proc. Sixth Int. Working Conf. Stored-Product Prot., Canberra, Australia. Pages 375-382.

## ILLUSTRATIONS

Remarque :

Les illustrations suivantes accompagnaient le texte de départ sous forme de diapositives. Nous avons ajouté les sous-titres.

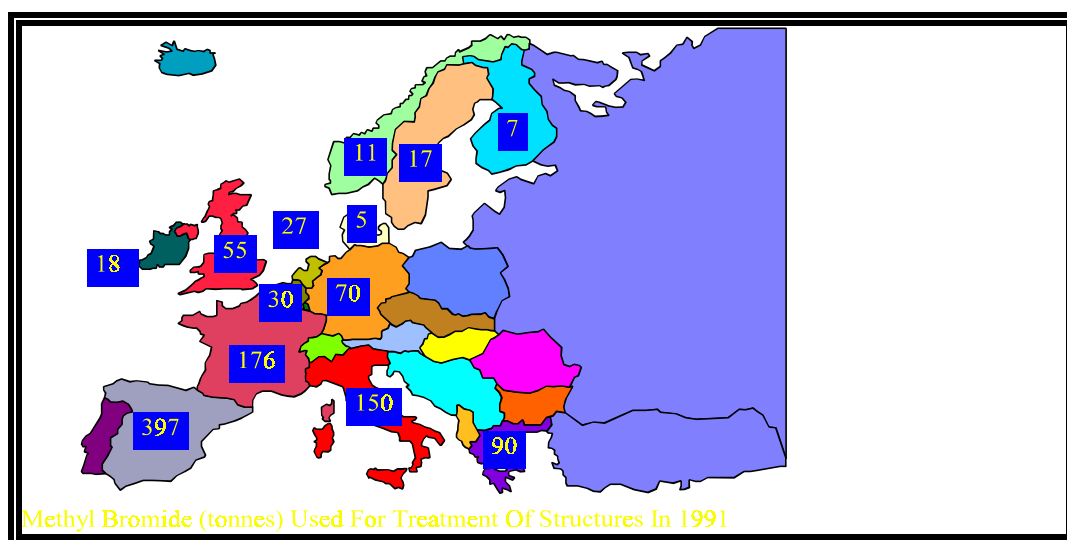


Figure 1. Tonnes de bromure de méthyle pour le traitement des installations (1991)



Figure 2. Autoclave de fumigation au CO<sub>2</sub> hyperbare avec réservoirs de recyclage du gaz.

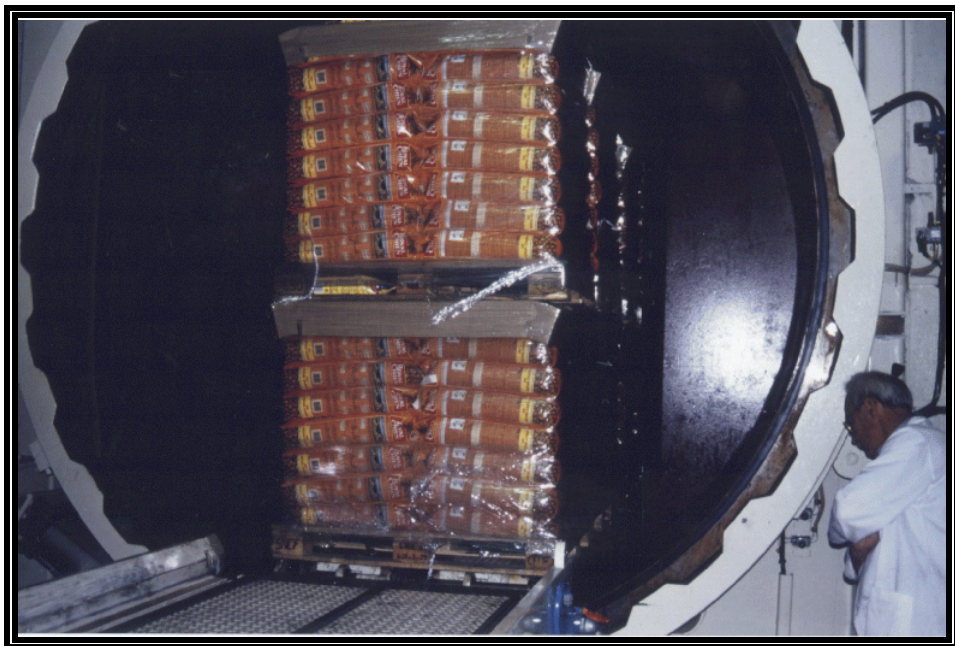


Figure 3. On introduit les palettes du produit à traiter dans l'autoclave.



Figure 4. Intérieur d'une église allemande susceptible aux perceurs de vieux bois.



Figure 5. Une église allemande.



Figure 6. Une église bâchée.

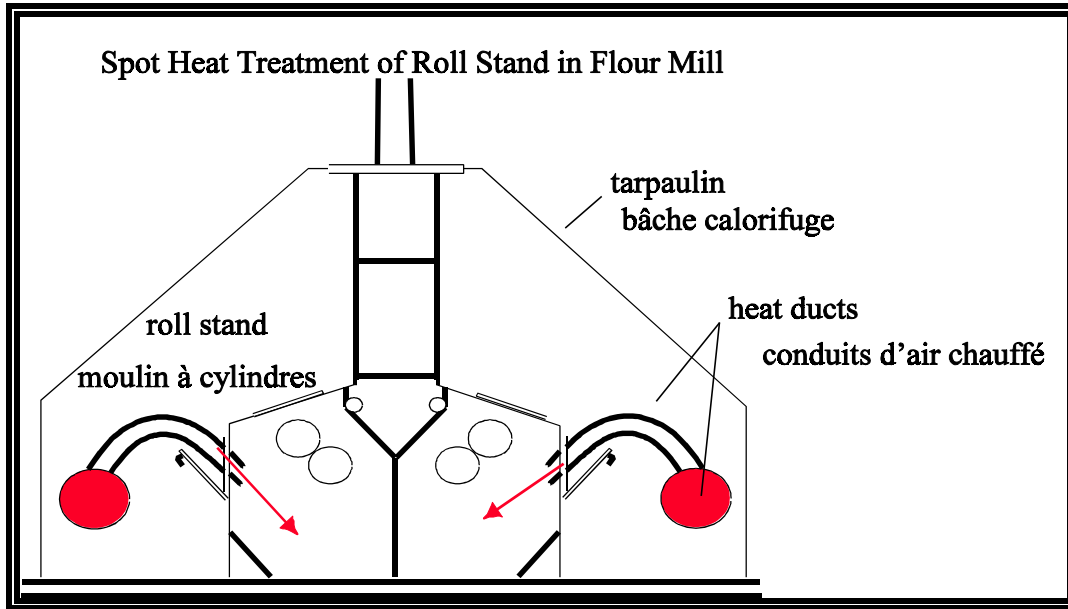


Figure 7. Traitement d'un moulin à cylindres par la chaleur localisée.



Figure 8. Une minoterie italienne.



Figure 9. Piège conique de haute capacité