

CULTURE
TECHNOLOGIQUE

**LA CONSERVATION
DES DENRÉES ALIMENTAIRES
CULTIVÉES E CLIMAT
CHAUD ET HUMIDE**

Premier CFT
Yaoundé, 5-10 novembre 1979

ASSOCIATION DES UNIVERSITÉS PARTIELLEMENT OU ENTièrement
DE LA GUERRE FRANÇAISE

Montréal

Pari

Dakar



LA CONSERVATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES CULTIVÉES EN CLIMAT CHAUD ET HUMIDE

ACTES
DU PREMIER COLLOQUE INTERNATIONAL
DE TECHNOLOGIE (CIT)
Yaoundé, 5-10 novembre 1979

Les textes n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

ISBN 2-920021-06-0
Dépôt légal - 4^e trimestre 1980
Bibliothèque nationale du Québec

SOMMAIRE

INTRODUCTION		5
ALLOCUTIONS ..	.MM. Anomah Ngu	11
	Michel GUILLOU	13
	Jacques RENOUX	19
	F. A. GANDJI	21
• Les aléas post-cultureaux.	Yvon de LUCA	29
• Intérêt de techniques de préservation. Le cas du traitement chimique des denrées stockées	Jacques DEUSE	45
• Amélioration des techniques et méthodes de protection des denrées récoltées	Mohamadou Ly et Aliou DioP	85
• La protection chimique des récoltes au Sénégal	Mol1amadou Ly	99
• Quelques aspects des problèmes posés par la conservation du maïs dans les hauts plateaux de l'Ouest	Emmanuel FONGANG	115
• Contribution à la recherche d'une méthodologie appropriée à l'estimation des quantités de vivres conservées en milieu rural et des pertes subies pendant cette conservation au Burundi	Alain MERTENS	129
II		
• Développement des techniques de conservation des denrées alimentaires et amélioration de l'état de nutrition des populations rurales en Afrique ...	Jean-Claude DILLON	145
• Évaluation de la valeur nutritionnelle des aliments en particulier des protéines ...	Yves LOZANO	163
• À propos des techniques traditionnelles de conservation des produits alimentaires au Cameroun	J. ELANG	181
• Revue de techniques traditionnelles de préparation de légumineuses à graine dans le sud-Togo - sud Bénin	Assion G. LAWSON	187
• Préservation des stocks de niebé sans résidus: l'huilage des grains comme technique améliorée de conservation traditionnelle	Assion G. LAWSON	193
• Influence des techniques traditionnelles de préparation sur la valeur nutritionnelle du manioc et du sorgho	J. C. FAVIER	195
• Le manioc et l'intoxication chronique au cyanure. Une enquête sur trois ethnies camerounaises	Stella Chinwe Efosi NWIGWE	225
• Conservation de la valeur nutritionnelle de la graine de coton utilisée en alimentation humaine	André CORNU	229
• Évolution au cours de la conservation des potentialités nutritionnelles de quelques espèces d'ignames cultivées au Cameroun	Serge TRECHE	247
• Note sur le pentosane et la panification des produits tropicaux	Jean MEUNIER	275
III		
• Conservation par le froid des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide	Didier VOKAER	291
• Théorie du séchage - Intérêt et pratique des capteurs plans - Technologie des séchoirs agricoles solaires - Intérêt des solutions polyvalentes	Michel FOURNIER	335

• Polyvalence d'une unité de séchage. Méthodologie de conception	Dany GRIFFON	361
• Les unités de stockage des céréales au Cameroun.	Ruben MSON	377
• Le séchage solaire à l'institut de physique météorologique" H. Masson" de la faculté des sciences de l'Université de DakarGérard MADON	387
• Pertes sur les ignames au cours du stockage. Causes et méthodes de lutte	K. FOUA BI, K. D. BASACAUH et M. DEMEAUX	395
• Expérience de l'utilisation du froid sur l'igname en Côte d'Ivoire	...Ouattara SINDON	413
• La conservation des produits alimentaires, perspectives solaires au Mali	.Modibo DICKO	417
RECOMMANDATIONS DU COLLOQUE		421
LISTE DES PARTICIPANTS.		425

INTERET DE TECHNIQUES DE PRESERVATION LE CAS DU TRAITEMENT CHIMIQUE DES DENREES STOCKEES

par Jacques Deuse

INTRODUCTION

Cet exposé introductif fait suite à celui de M. de Luca qui a introduit le thème dans son chapitre 3 relatif à l'intérêt des techniques de préservation.

Le but de la lutte contre les parasites des produits stockés est de protéger et conserver les stocks soit en tuant les insectes à tous leurs stades de développement, oeufs, larves, pupes et adultes, soit en évitant l'infestation des produits stockés. En même temps, il faut éviter des dommages quelconques aux produits traités, et employer un procédé tout à fait sans risque pour les personnes qui s'occupent de la désinfestation et également les consommateurs qui, plus tard, mangent les produits soit à leur état brut, soit transformés.

Il existe plusieurs méthodes pour tuer les insectes. Voici une brève description de chacune.

- Par la chaleur : en Amérique et au Canada, on chauffe les moulins entre 40° C et 50° C afin que les insectes soient tués. Ce procédé est très ancien. Il est appliqué en minoterie depuis le XVIIIe siècle.

Par le froid : dans ces mêmes pays, on ouvre les moulins pendant l'hiver, quand la température est inférieure à zéro degré centigrade pendant vingt-quatre ou trente-six heures. L'exposition au-dessous de 10GC provoque la mort des insectes. En plus, de ce procédé simple, il existe toutes les méthodes classiques de réfrigération.

JACQUES DEUSE, chef du service phytopharmaceutique, IRAT, Centre GERDAT, Montpellier, co-secrétaire du GASCA (Groupe pour l'assistance du stockage des grains en Afrique)

Par le choc mécanique : il existe un appareil appelé *entoleter*. Cet appareil est employé dans les moulins pour désinfecter la farine avant l'emballage. Il jette avec beaucoup de force les grains ou la farine contre une surface dure et tous les insectes à tous les stades sont tués par le choc (énergie de la centrifugation) • Il existe aussi un autre type modifié *d'entoleter* avec lequel on trie les grains avant de les moulin. On aspire les fragments des insectes avant qu'ils ne passent dans les moulins. Ce type est très utile si on veut éviter que des morceaux d'insectes soient présents quand les grains passent dans le broyeur à cylindres.

- Par suffocation le stockage des produits agricoles en l'absence d'air est très connu dans le monde et est applicable pour le stockage de très grande quantité de céréales ainsi que pour la conservation de farine. Au Kenya, par exemple, le gouvernement vient de construire une unité de stockage hermétique pour 1 000 000 de sacs de maïs (90 000 tonnes). En Amérique du Sud, à peu près deux millions de tonnes de blé et de maïs sont ainsi stockés sous le sol.

Les insectes meurent par insuffisance d'oxygène qui est, en conditions hermétiques, très vite consommé par les grains eux-mêmes, les insectes et les spores de champignons que l'on trouve en relative abondance dans les grains.

- Par les rayons gamma : les insectes sont facilement tués ou stérilisés par les rayons gamma. La méthode n'a pas encore été mise au point sur le plan industriel, mais des unités pilotes ont été construites en Turquie, aux Etats-Unis. Au Mali, on tente d'appliquer cette méthode pour la désinfestation du poisson séché.

Par l'emploi de courants à haute fréquence: ceux-ci provoquent néanmoins dans les masses exposées, une augmentation de température qui, si la durée d'exposition doit être longue, risque de provoquer des modifications de qualité dans cette masse.

Par l'emballage des produits: cette méthode est strictement une méthode de protection. Les insectes ne peuvent infester les produits à cause de l'emballage résistant à leur pénétration. Par exemple, l'emploi de sacs polyéthylène ou aluminium pour emballer les farines. En Gambie, par exemple, il est interdit d'importer de la farine de blé, si elle n'est pas emballée dans un emballage résistant aux insectes.

- Par traitement chimique: c'est assurément la méthode la plus employée actuellement, mais l'addition de produits chimiques n'est pas sans danger pour l'homme. Aussi, y a-t-il lieu d'être très prudent dans l'addition des substances chimiques dans les denrées alimentaires.

Cette dernière méthode fait l'objet du présent exposé qui doit être considéré comme un complément au récent ouvrage *Les insectes et les acariens*¹. Nous y donnons un ensemble de "compléments tropicaux" et notamment une actualisation des données concernant les insecticides utilisés sous les tropiques.

I. ELEMENTS DE PHYTOPHARMACIE

Généralités

La phytopharmacie est une science qui a pour objet l'étude des produits et préparations destinés à la protection des végétaux, à l'exclusion des engrais et des amendements. Cette science récente se situe à un carrefour complexe de disciplines, tel l'entomologie, la phytopathologie, l'agronomie, etc.

La phytopharmacie est intimement liée à la phytiatrie, art du diagnostic des maladies ou des affections des plantes cultivées. C'est une science en pleine expansion qui nécessite un effort constant de mise à jour de la part du phytopharmacien. Les tendances actuelles de la phytopharmacie vont dans le sens de la recherche de pesticides spécifiques (ou sélectifs) afin d'éviter des brusques ruptures d'équilibre biologique.

On appelle "produit phytopharmaceutique" toute matière susceptible de présenter une action utile dans la lutte contre les ennemis des végétaux.. On réserve le nom de préparations phytopharmaceutiques à toute formulation dans laquelle une matière utile est associée à d'autres matières qui facilitent ou améliorent son action ou son usage.

1. Classification des pesticides

Les produits phytopharmaceutiques sont souvent appelés "pesticides" sous l'influence du vocabulaire américain. On divise communément les pesticides en :

¹ *Les insectes et les acariens*. Scotti et coll. ITCF et AFNOR, 1978.

- insecticide substance ou préparation destinée à la destruction des insectes et par extension à celle d'autres invertébrés
- fongicide substance ou préparation destinée à combattre les champignons parasites
- herbicide substance ou préparation destinée à la destruction des plantes nuisibles aux cultures
- rodenticide substance ou préparation destinée à la destruction des rongeurs
- nématocide substance ou préparation destinée à combattre les nématodes parasites. soit libres. soit dans la plante
- bactéricide substance ou préparation destinée à combattre les bactéries parasites
- acaricide substance ou préparation destinée à la destruction des acariens.

2. Fabrication des pesticides

Le produit idéal devrait avoir une efficacité maximum contre le ravageur. animal ou végétal; une phytotoxicité nulle; être d'une manipulation facile ; révéler ses qualités physico-chimiques dès la mise en solution; et être économique à l'usage.

Pour arriver à un tel produit. il faut synthétiser ou analyser des milliers de produits chimiques. Ce travail s'appelle le *screening test* et il est surtout le fait de l'industrie privée. Le prix de revient moyen d'un nouveau pesticide en Amérique est de U.S. \$ 687 000. Ce prix comprend les frais de synthèse. les tests biologiques. les essais en serre. la conception d'une usine pilote. les frais de brevet et enfin les études toxicologiques.

Ces nouveaux produits chimiques possèdent un nom systématique établi en tenant compte des règles de l'Union internationale de chimie pure et appliquée. Ils possèdent également un nom commun normalisé suivant les règles de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

Les produits techniques purs font l'objet de préparations qui ont pour but de fournir une matière relativement fine. facilement utilisable. à haut potentiel pesticide qui se présentera sous une forme aisément transportable et se conserve parfaitement.

3. Constituants des pesticides

Toute matière présentée comme pesticide contient une série de constituants, soit une ou plusieurs matières actives et un ou plusieurs adjuvants (surfactants).

Ces adjuvants sont ajoutés à la matière active de base en vue d'améliorer son action, son emploi ou ses propriétés. Les divers types d'adjuvants sont:

- | | |
|----------------------|---|
| 1) des mouillants | 6) des solvants |
| 2) des dispersants | 7) des absorbants |
| 3) des stabilisants | 8) des charges solides ou des diluants liquides |
| 4) des émulsionnants | 9) des colorants |
| 5) des adhésifs | 10) des parfums |

4. Description des principales formules

4.1. Formules pour préparation de solutions

4.1.1. Composition

a) La matière active.

b) Les adjuvants :

- les solvants: le solvant le plus utilisé est l'eau. Pour préparer des solutions concentrées à diluer dans l'eau, on doit nécessairement utiliser un solvant miscible à l'eau : éthanol, méthanol, acétone, dioxane, glycols. Les solutions concentrées destinées à être diluées par les solvants organiques, volatils ou non (butane, propane, gaz, oil, etc) doivent être préparées dans un solvant miscible ou diluant ;

les mouillants : ce sont des substances qui possèdent la propriété d'abaisser la tension superficielle du milieu liquide qui les contient. On les appelle communément des "tensio-actifs". On en distingue trois types différents :

1er type : tensio-actifs anioniques : savons (palmittates, stéarates, aléates alcalins), huiles sulfonées

2e type : tensio-actifs cationiques ammonium quaternaire

3e type : tensio-actifs non ioniques esters de stéarates de polyglycols.

La dose en mouillant dans une formule est telle que lors de la préparation la dose en tensio-actifs ne dépasse pas 0,5 pour mille (seuil économique) ;

- les polyphosphates : hexamétaphosphates - pyrophosphates
les versenes ou sequestrenes (éthylènediaminotétra -
acétates de sodium ou trinitrilacétates de sodium).

4.2 Formules pour préparation des bouillies

4.2.1. Description

Le produit se présente sous deux formes pulvérulentes :

- **il** se disperse immédiatement dans l'eau: poudres dispersables ou mouillables ;

il s'y disperse après agitation avec addition progressive d'eau: poudres empâtées .

La préparation de ces poudres se fait de deux façons

- mélange simple : broyage
blutage (tamis vibrants)
- mélange par absorption

4.2.2. Composition

- toxique de base
- l'excipient: diluant de base

4.2.3. Principaux excipients

- matières siliceuses kaolins, silicates argileux complexes
bentonites, argiles très fines
kieselguhrs, diatomites ou terres
de diatomées
talc (lamellaires ou globulaires)
- matières salines craie
gypse

Certaines impuretés dans les diluants solides peuvent être cause "d'inactivation"

- par réactivité : influence du fer sur les organo-chlorés
influence de l'alcalinité sur les matières saponifiables
- par absorption
- par phytotoxicité.

4.3. Formules pour préparation des émulsions

Emulsion: milieu constitué par de petites gouttelettes d'un liquide dispersé dans un autre liquide non miscible au premier.

On distingue une phase dispersée et une phase continue ou dispersante.

On appelle agents dispersants ou émulsionnants les substances qui provoquent la séparation en petites gouttes ; ce sont aussi des matières tensio-actives.

On appelle émulsion auto-émulsionnable, une solution qui par dilution dans une phase étrangère se résout en émulsion.

4.4. Formules sèches

Les poudres à pulvériser : elles diffèrent des poudres mouillables par l'adjonction de charges lourdes destinées à améliorer la fluidité de la masse et leur permettre un bon écoulement dans les tuyères.

Composition matière premières
toxique de base
matières de charge

4.5. Formules en granulés

L'insecticide est dissous dans un solvant non phytotoxique à point éclair élevé ; la solution est pulvérisée sur des granules absorbants, préalablement classés au tamis.

4.6. Formules en aérosols

Les aérosols sont des suspensions de fines particules solides ou de fines vésicules liquides dans un gaz, l'air en l'occurrence.

4.7. Formules pour fumigation

Elles se présentent sous forme de :

- gaz sous pression en bouteille de gaz
- liquide (fumigant à température d'ébullition basse)
- solide: en général, formulation réagissant avec l'humidité atmosphérique (acide cyanhydrique, hydrogène phosphoré)
- cristaux ou de flacons qui subliment en donnant des vapeurs fumigantes (paradichlorobenzène, naphtaline, etc.)

4.8. Formules diverses

4.8.1. *Peintures insecticides (insecticidal lacquers)*

Ces formules sont utilisées dans des endroits où l'on désire avoir une persistance très longue de l'insecticide (cuisines, hôpitaux, navires, etc.). En général, on emploie comme diluant une résine synthétique (principalement urée-formaldéhyde). Dans ce cas les insecticides les plus employés sont le D.D.T. et la dieldrine, le propoxur.

4.8.2. *Plaquettes insecticides*

Le dichlorvos peut être inclus dans des plaquettes de plastique qui relâchent progressivement l'insecticide dans l'air (Plaquette Vapona R Shell).

4.8.3. *Papiers ou serpentins insecticides*

Ceux-ci dégagent l'insecticide lorsqu'ils brûlent (*mosquito coils*).

4.8.4. *Appâts attractifs*

Il existe divers appâts contenant un insecticide pour attirer les insectes, principalement les mouches.

5. Méthode de préparation et de dilution des insecticides

Généralités

La plupart des insecticides étant sous une forme concentrée, il est donc nécessaire d'effectuer une dilution avant l'emploi. L'insecticide peut se trouver principalement sous forme de poudre mouillable (P.M.) ou d'émulsion (S.E.). Le diluant peut être l'eau ou un solvant organique (fuel, pétrole, etc.) suivant le type d'utilisation.

5.1. Compatibilité des insecticides

Si l'on mélange un ou plusieurs insecticides entre eux, il y a lieu de voir si le mélange est compatible.

5.2. Normes d'application

Il importe de toujours vérifier si les normes d'application sont respectées, c'est-à-dire que les quantités de matières actives épandues soient conformes aux valeurs données dans le tableau 1.

Tableau 1.

Doses d'insecticides conseillées pour la lutte contre les parasites des denrées emmagasinées ou pour l'incorporation directe au grain

Matière active	Dose conseillée g.m.a/100 kg grain (1)	Taux des résidus ; autorisés dans ; les farines p.p.m. (2)	Traitements locaux g.m.a/m2 (3)	Sacherie g.m.a./m2
Lindane *	0,5		0,1	0,1
Malathion * +	0,8	2	0,5	0,5
pyréthrine +		1,3	0,1	0,1
Bromophos **	0,8 à 1,2			
Carbaryl 0	0,8			
Dichlorvos (DDVP) 0	2,5			
Zeidane (DDT) X			1,00-1,50	1,00-1,50
Diazinon X			1,00	
Gardona (R) Shell 0				
Dieldrine X			0,5	0,5
Fenitrothion 0				
Propoxur			1,00-2,00	1,00-2,00
Baythion (R) Bayer			0,1 -0,2	0,1 -0,2

* Autorisé par le ministère français de l'Agriculture

** Autorisé par le ministère britannique de l'Agriculture

+ Emploi recommandé par la FAO

0 En expérimentation

X Interdite sur denrées alimentaires - autorisée pour le traitement des semences

(1) g.m.a-gramme, matière active - (2) p.p.m.- parties de matière active dans un million parties de farine - (3) g.m.a/m2- gramme, matière active par mètre carré

5.3. Tableaux pour la préparation des insecticides

5.3.1. Tableau 2 : pour réaliser une solution de 100 litres

% en m.a nécessaire! dans la bouillie	% en m.a. (1) dans le concentré commercial (P.M.) ou S.E. (2)					grammes concentré pour 100 litres d'eau
	75	50	40	25	20	
0,1 %	133.3	200	250	400	500	
0,075 %	100.0	150	187.5	300	375	
0,05 %	66.5	100	125	200	250	
0,01 %	13.3	20	25	40	50	

Le tableau 2 est destiné à trouver la quantité des produits commerciaux à diluer. Elle se calcule comme suit :

Soit par exemple 100 litres de bouillie aqueuse titrant 0,1 % (1 partie pour 1000) de f.f.a. à préparer à partir d'une préparation commerciale à 40%. Il faut donc pour 100 litres d'eau, 100 g de m.a. à 40 %. La quantité de produit commercial à utiliser sera de :

un concentré à 40 % contient 40 g de m.a. par 100 g de produit commercial

pour 1 g de m.a. il faut 40 fois moins $\frac{100}{40}$ de produit commercial

pour avoir 100 g de m.a. il faut 100 fois plus :

$$100 \frac{100 \times 100 \text{ g}}{40} = 250 \text{ g de produit commercial}$$

-
- 1. m.a. matière active
 - 2. p.m. poudre mouillable
 - s.e. = solution émulsionnable

5.4. Exemples de préparation et dilution d'insecticides

5.4.1. Exemple:

Une poudre mouillable concentrée contient 25 % de malathion, nous voudrions préparer une pulvérisation contenant 1,5 g de matière active, et appliquer à la dose de 4,5 litres par 10 m². Nous avons 100 m² à pulvériser, combien d'insecticide concentré devons-nous employer ?

Calcul dans 100 g de poudre mouillable à 25 % m.a. il y a 25 g de m.a.

1000 ml de la pulvérisation contiennent 1,5 g de matière active.

La quantité totale de la pulvérisation dont nous avons besoin est: $\frac{4,5 \times 100}{10} = 45$ litres

1000 ml (1 litre) de la pulvérisation contient 1,5 g de m.a., donc 45 litres contiennent $1,5 \times 45 = 67,5$ g de matière active.

Comme 100 g de poudre concentrée contiennent 25 g de matière active, pour avoir 67,5 g de matière active, il faut: $100 \times 67,5 = 270$ g de poudre mouillable à 25 % de m.a.

Donc, 270 g de poudre à 25 % de malathion sont mélangés avec 45 litres d'eau pour préparer un liquide contenant 1,5 g/l de matière active.

5.4.2. Exemple

Comment prépare-t-on 15 litres d'une pulvérisation contenant 1 % de PIV (poids/volume) de m.a. à partir d'un concentré émulsionnable à 50 % ?

Calcul : 100 ml de la pulvérisation contiennent 1 g de matière active.

15 000 ml (15 litres) de la pulvérisation contiennent : $1 \times \frac{15\ 000}{100} = 150$ g m.a.

50 g de matière active sont contenus dans 100 ml de concentré émulsionnable.

150 g de matière active sont présents dans :

$\frac{100}{50} \times 150 = 300$ ml de concentré émulsionnable.

Donc, 300 ml de concentré émulsionnable à 50 % sont nécessaires pour préparer 15 litres d'une pulvérisation contenant 1 % PIV.

5.4.3. *Exemple :*

Quelle quantité de malathion poudre à 0,5 % est-il nécessaire d'ajouter à 1 tonne d'arachides en coques pour avoir un mélange de 8 millièmes (c'est-à-dire 8 parties de matière active de malathion dans 1 000 000 parties d'arachides) ?

Calcul : 1 000 000 parties de grain doivent contenir 8 parties de malathion

1 000 000 tonnes de graines doivent contenir 8 tonnes de malathion

Donc, 1 tonne de graines doit contenir $1 \frac{8}{1000} 000$

tonnes de malathion $\frac{8}{1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{1000} = 8 \text{ g de malathion}$

0,5 g de malathion sont présents dans 100 g de poudre, donc : 8 g de malathion sont présents dans $\frac{100}{0,5} \times \frac{8}{1} \text{ g de poudre} = 1\ 600 \text{ g} = 1,6 \text{ kg de poudre.}$

Donc, 1,6 kg de malathion à 0,5 % réparti dans 1 tonne d'arachides en coques donne un mélange à 8 p.p.m.

5.4.4. *Exemple :*

Il faut traiter par nébulisation un magasin de 40 000 m³, en employant un brouillard de DDVP à 1 % PIV, au débit de 1,7 litre de brouillard par 300 m³. Quelle quantité de DDVP à 75 % *plv* concentré emploierons-nous pour traiter tout le magasin ?

Calcul: Pour 300 m³, nous employons 1,7 litre de liquide dilué, donc, pour 40 000, nous employons :

$$\frac{1,7}{300} \times \frac{40\ 000}{1} = 226 \text{ litres de liquide dilué.}$$

226 litres de DDVP 1 % sont nécessaires pour faire le traitement.

100 ml DDVP de liquide dilué contiennent 1 g DDVP de matière active. Donc, 226 000 (226 litres) dilués contiennent :

$$\frac{1}{100} \times \frac{226\ 000}{1} \text{ g} = 2\ 260 \text{ g DDVP}$$

Tableau 5.
Caractères physicochimiques et biologiques des matières actives utilisées
pour la protection des denrées entreposées

Nom matière active	Poids moléculaire (g)	Tension de vapeur à 20°C (mmHg)	Dose létale médiane par ingestion chez le rat (DL 50 mg/kg)	Fabricant
Dichlorvos	221	$1,2 \times 10^{-2}$	56-80	Nombreux
Tétrachlorvinphos	366	$4,2 \times 10^{-8}$	4 000-5 000	Shell
Iodofenphos	413	8×10^{-7}	2 100	Ciba-Geigy
Bromophos	366	$1,3 \times 10^{-4}$	3 750-6 100	Cela-Merck
Pyrimiphos-méthyl	305	1×10^{-4}	2 050	I.C. 1.
Chlorpyriphos-méthyl	323		2 140	Dow
Phoxime	298	1×10^{-4}	2 170	Bayer
Malathion	330	$1,25 \times 10^{-4}$	2 800	Cyanamid
Bioresméthrine			8 600	Roussel-Uclaf;
Lindane	290,9	$9,4 \times 10^{-6}$	88	Nombreux
Carbaryl	201,2	5×10^{-3}	850	Union Carbide;
Fénitrothion		6×10^{-6}	500	Nombreux
Propoxur		3×10^{-6}	100	Bayer
Pyréthrine naturelle			200	Nombreux

Le concentré contient 75 % de matière active.
75 g de m.a. DDVP sont présents dans 100 ml de liquide concentré, donc 2260 g de matière active DDVP sont présents dans :

$$\frac{100}{75} \times \frac{2260}{1} \text{ ml} = 3\,013 = 3 \text{ litres } 13 \text{ ml.}$$

Donc, pour faire le traitement, 3 litres 13 ml de DDVP 75 % doivent être dilués avec 222 litres 87 ml de solvant (par exemple huile ou pétrole) pour préparer 226 l de DDVP 1 %.

II. CARACTERISTIQUES DES INSECTICIDES UTILISES POUR LA PROTECTION DES STOCKS

Nous avons classé les insecticides en deux grandes catégories, relatives à leur principal usage : ceux qui sont utilisés pour le traitement des denrées entreposées et ceux qui le sont pour le traitement des locaux de stockage. Les tableaux 5 et 6 qui suivent donnent les principales caractéristiques des insecticides utilisés pour la protection des denrées entreposées en climat tropical.

2.1. Insecticides pour le traitement des denrées entreposées

2.1.1. Insecticides utilisés seuls

LINDANE

Le lindane est l'isomère gamma de l'hexachoro-1,2,3,4,5,6 cyclohexane ou HCH (BHC en anglais). Il appartient au groupe des insecticides organochlorés. A l'inverse du HCH, le lindane est pratiquement sans odeur. Il se volatilise facilement du fait de sa tension de vapeur élevée. Il est stable à l'air, au gaz carbonique, à la lumière, à la chaleur, aux acides forts ; il est instable en revanche en présence d'alcalis. Le lindane agit sur les insectes par contact direct, par inhalation et également par absorption.

Formulations poudre (0,25 % à 1,35 % m.a.)
 émulsion et poudre mouillable (de 20 % à 90 % m.a.)
 formules pour sublimation, bâtonnets, comprimés,
 manchons combustibles, papiers imprégnés.

Tableau 6.

Doses d'insecticides conseillées pour la lutte contre les parasites des denrées entreposées

Nom matière active	Dose en g m.a. / 100 kg grain	Taux de résidus auto- risés (ppm) du Codex- alimentarius	Traitement locaux; g m.a./100 m ³	Sacherie et murs; g m.a./m ²
Dichlorvos		2	7,5	
Tétrachlorvinphos	3,6			
Iodofenphos				
Bromophos	0,8-1,2	10	3,2	1,8
Pyrimiphos-méthyl	0,4	10	7-10	0,2
Chlorpyrifos-méthyl ¹	0,25	10		
Phoxime				0,1-0,2
Malathion	0,8	8	4	0,5
Bioresméthrine	0,15	5		
Lindane	0,5	0,5	4	0,1
Carbaryl	0,8			
Fénitrothion	3	10		
Propoxur				1-2
Pyréthrine naturelle; ¹		3	10	0,1
Diazinon				

MALATHION

CloH190CPS2 ou (diméthoxy-thiophosphorylthio) - 2 succinate d'éthyle.

Cet insecticide organo-phosphoré, d'origine américaine (American Cyanamid), agit par contact, ingestion et vapeurs sur insectes et acariens. Il possède l'inconvénient de dégager une odeur très désagréable. Stable en présence de la lumière et instable en présence d'humidité. Peu soluble dans l'eau (145 ppm). Toxicité: peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion: 2 800 mg/kg.

PYRETHRINES

- *d'origine naturelle*

Ce sont des substances organiques d'origine végétale extraite de *pyrethrum sp.* Ces substances que l'on retrouve dans les formulations commerciales sont souvent associées à des substances dites synergiques, comme le butoxyl de pipéronyl, qui augmentent considérablement leur efficacité. A l'air, elles sont rapidement oxydées et inactivées. Elles se décomposent également à la lumière et perdent ainsi leur pouvoir insecticide. Elles sont décomposées également en milieu alcalin.

Formulations : poudre à poudrer souvent en association avec le lindane et le malathion
 émulsions pour les pulvérisations sur les grains ou les parois des locaux et de la sacherie
 formules destinées à la nébulisation des locaux en association avec le lindane ou le malathion.

- *Les pyrèthrine de synthèse*

Il en existe de très nombreuses au stade de la recherche (voir chapitre 2.2.2.). Nous ne retiendrons que la bioresmethrine.

BIORESMETHRINE

$C_{22}H_{26}O_3$ ou (+)-trans-diméthyl-2 propène-1 yl-3 cyclopropane-carboxylate (benzyl-5 furyl-5) méthyle.

Cet insecticide d'origine anglaise (Nat. Res. and devpt. Co.) est un pyrèthrianoïde de synthèse se présentant sous forme d'un liquide jaune légèrement visqueux. Insoluble dans l'eau, il est très soluble dans la plupart des solvants organiques et se décompose rapidement à l'air et à la lumière. Il agit par contact, ingestion et inhalation. Son action peut être renforcée par un synergiste du type pipéronyl butoxyde. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 8 600 mg/kg. Toxique pour les poissons et les abeilles.

BROMOPHOS

$C_6H_9BrO_3P$ ou thiophosphate de 0,0-diméthyle et de O-(bromo-4 dichloro-2, 5 phényle).

Cet insecticide acaricide organo-phosphoré d'origine allemande (Celamerck), qui contient un atome de brome, agit par contact et surtout par ingestion (en inhibant la cholinestérase comme tous les esters phosphoriques). Il est très stable et très peu soluble dans l'eau (40 ppm). Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion: 3 750 à 7 700 mg/kg. Non dangereux pour les abeilles, toxique pour les poissons.

CHLORPYRIPHOS-METHYL

$C_7H_7Cl_3N_3O_3P$ ou thiophosphate de 0,0-diméthyle et de O-(trichloro-3,5,6 pyridyle-2).

Cet insecticide d'origine américaine (Dow Chemical Cy) appartient au groupe des organo-phosphorés. Il se présente sous la forme de cristaux blancs, stables en conditions neutres, instables en conditions acides et basiques, pratiquement insolubles dans l'eau (4 ppm). Il agit par contact, ingestion et inhalation sur un grand nombre d'insectes (charançons, *tribolium*, sylvains ...) et acarien (*tyroglyphus* etc.) parasites des grains stockés. Toxicité: peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion 2 140 mg/kg.

DICHLORVOS

$C_4H_7Cl_2O_4P$ ou phosphate de (dichloro-2, 2 vinyle) et de diméthyle.

Cet insecticide du groupe des esters phosphoriques, d'origine allemande (Bayer) et suisse (Ciba), a été longtemps connu sous le sigle DDVP. Il se présente sous la forme d'un liquide incolore à ambré, à odeur aromatique. Soluble à 1 p. cent dans l'eau, il agit par inhalation et surtout par contact et présente une action de pénétration. Doté d'une action de choc très élevée. Toxicité : très dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 80 mg/kg.

PHOXIME

$C_{12}H_{15}N_2O_3P$ ou 1(diéthoxythiophosphoryloxy) iminol - 2 phényl-2 acétonitrile.

Cet insecticide d'origine allemande (Bayer) appartient au groupe des organo-phosphores. Il se présente sous la forme d'un liquide jaune, stable en conditions acides. Il agit par contact et ingestion. Sa solubilité dans l'eau est très faible 7 ppm. Toxicité: peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 170 mg/kg.

PYRIMIPHOS-METHYL

CII H₂₀ N₃ O₃ PS ou thiophosphate de O-(diéthylamino-2 méthyl-6 pyrimidinyle-4) et de O,O-diméthyle.

Cet insecticide d'origine britannique (ICI) appartient au groupe des organo-phosphorés. Il se présente sous la forme d'un liquide de couleur jaune paille, pratiquement insoluble dans l'eau (5ppm), soluble dans la plupart des solvants organiques, hydrolysé en conditions fortement acides et alcalines. Il agit par contact et par vapeur et possède une légère action systémique. Cet insecticide a une action sur les coléoptères, pucerons et acariens. Toxicité: peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 050 mg/kg.

2.1.2. Insecticides utilisés en mélange

De nombreux mélanges existent, citons les plus importants

DICHLORVOS + CHLORPHYRIPHOS-METHYL

DICHLORVOS + MALATHION

DICHLORVOS + MALATHION + PYRETHRINES

MALATHION + PYRETHRINES

Utilisation: traitement des grains stockés.

2.2. Insecticides pour le traitement des locaux de stockage

2.2.1. Insecticides utilisés

Aux insecticides cités ci-dessus s'ajoutent les suivants

CARBARYL

CIZHIINOZ ou N-méthylcarbamate de naphthyle-1.

Cet insecticide du groupe des carbamates d'origine américaine (Union Carbide Chemical) anciennement appelé "Sévin", agit par contact et par ingestion. Pratiquement insoluble dans l'eau (40 ppm), stable à la lumière et à la chaleur. Sa persistance d'action est de l'ordre de quinze à vingt et un jours. Toxicité: peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 850 mg/kg.

Utilisé aux Philippines et en Syrie.

DIAZINON

C₁₂H₂₁O₃N₂PS ou thiophosphate de 0,0-diéthyle et d'O-(isopropyl-2 méthyl-6 pyrimidyle-4).

Cet insecticide organo-phosphoré, d'origine suisse (Geigy) est très peu soluble dans l'eau (40 ppm). Il agit par contact, ingestion et légèrement en profondeur sur insectes et acariens. Stable en milieu alcalin, et lentement hydrolysé. Toxicité: moyennement dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion: 300 à 850 mg/kg. Utilisé en Jamaïque, à Bahrein, en Israël.

IODOFENPHOS

C₉H₈Cl₂I₂O₃ PS ou thiophosphate de 0-(dichloro-2,5 iodo-4 phényle) et de O,O-diméthyle.

Cet insecticide-acaricide d'origine suisse (Ciba) agit par contact et ingestion sur les différents insectes des locaux et en particulier les mouches dans les étables, et les moustiques. Insoluble dans l'eau (2ppm), stable en milieu neutre, faiblement acide ou basique, instable en milieu alcalin ou fortement basique. Sa persistance d'action est de l'ordre de trois mois. Il peut être mélangé avec les produits à blanchir à condition que la préparation soit neutre. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 100 mg/kg. Utilisé au Nigéria et au Sénégal.

PROPOXUR

C₁₁H₁₅N₃O₃ ou 2-isopropoxy-phényl-N-méthylcarbamate.

Cet insecticide d'origine allemande (Bayer) du groupe des carbamates agit par contact et ingestion. L'effet initial est rapide et l'effet résiduel extrêmement long. Possède un excellent *flushing effect* (réaction des parasites vivant cachés, de quitter immédiatement leurs refuges après un traitement dirigé sur ceux-ci). Toxicité: dangereux. DL 50 : 90 mg/kg. Utilisé au Sénégal, en Jamaïque, à Bahrein.

2.2.2. Etat des recherches dans le domaine des insecticides pour la protection des denrées entreposées

Peu de recherches sont effectuées dans ce domaine car les formalités administratives pour obtenir l'autorisation d'emploi d'un pesticide sur denrées entreposées sont très onéreuses. Néanmoins, dans les années à venir on assistera probablement à une utilisation croissante des pyréthrinoïdes de synthèse dont plusieurs sont en expérimentation sous les tropiques.

Enfin, toutes les substances chimiques provoquant des modifications du comportement (phéromones, séménomes, etc.) ou de la physio-

logie (antichitinisant, bloqueur de mues, etc.) seront très certainement testées car sous les tropiques les normes d'infestation des stocks resteront encore longtemps moins sévères que dans les pays développés. C'est dire que la présence de quelques insectes n'est pas un handicap pour le commerce national et qu'une lutte au cours du stockage peut s'envisager alors qu'en Europe la lutte est essentiellement préventive. Sous les tropiques la lutte est à la fois préventive et curative. C'est ainsi que la lutte biologique, nécessitant la présence de l'insecte et de son parasite inconcevable en Europe est tout à fait réaliste sous les tropiques et peut être un excellent moyen de lutte préventive dès la récolte (peu mécanisée) et très économique pour le paysan.

Insecticides au niveau de la recherche

a) Pyréthrinoides

Les pyréthrinoides ont été synthétisés en prenant comme modèle les pyréthrines naturelles, utilisées comme insecticides depuis des millénaires en Extrême-Orient. Les pyréthrinoides peuvent avoir une action de choc extrêmement rapide sur les insectes ou un effet létal qui s'apparente à celui des insecticides organo-phosphorés. Ces produits ont en général une très faible toxicité et une faible persistance qui en font des insecticides de choix pour l'utilisation dans les habitations. Actuellement, une dizaine de pyréthrinoides sont introduits sur le marché et notamment les stéréoisomères les plus actifs. Tout récemment ont été décrites les propriétés de la perméthrine. Ce pyréthrinouide avec ses isomères garde une faible toxicité mais sa persistance à la lumière en fait un insecticide rémanent dont l'emploi va certainement prendre une grande extension, dès qu'il sera fabriqué industriellement. Le tableau ci-après donne la liste des plus importants. Seule la bioresméthrine est autorisée pour l'instant pour la protection des denrées stockées.

La toxicité des principaux pyréthrinoides est la suivante:

	DL 50 en mg/kg per os sur rat	Source
Alléthrine	770	Elliot (1971)
Bioalléthrine	1 030	Verschoyle et Barnes (1972)
S. Bioalléthrine	680	Roussel-Uclaf
Resméthrine	1 400	Elliot (1971)
Bioresméthrine	8 000	Elliot (1971)
Cisméthrine	100	Elliot (1971)
Bioéthanométhrine	100	Elliot et al. (1973)
Perméthrine	1 500	Elliot et al. (1973)
Pyréthrine I	420	Barnes et Verschoyle (1972)
Tétraméthrine	5 200 (1)	Nishizawa (1971)

Tableau 7.
Insecticides pyréthriinoïdes

Noms communs	Noms chimiques
Alléthrine	d1-cis-trans chrysanthémate de d1-alléthrolone
Bioalléthrine	d-trans chrysanthémate de d1-alléthrolone d-trans alléthrine
Bioalléthrine D	d-trans chrysanthémate de d-alléthrolone S. Biolalléthrine
Bioperméthrine	d-trans 2,2-diméthyl-3-(2,2-dichloro- vinyl) cyclopropane carboxylate de 3 phénoxy-benzyl NRDC 147
Bioresméthrine	d-trans chrysanthémate de benzyl-5 furylméthyl-3 d-trans NRDC 104 NRDC 107
Cisméthrine	d-cis chrysanthémate de benzyl-5, furylméthyle-3 NRDC 119 RU 12.063
d-Cis-perméthrine	d-cis 2,2-diméthyle-3-(2,2-dichloro- vinyl) cyclopropane carboxylate de 3- phénoxy-benzyl NRDC 167
NRDC 106	d-trans chrysanthémate dicarboxylique monoéthylester RU 12.061
Perméthrine	d.1-cis-trans 2,2-diméthyl-3-(2,2-di- chlorovinyl) cyclopropane carboxylate de 3-phénoxybenzyl NRDC 143
Resméthrine	d1-cis-trans chrysanthémate de benzyl- 5, furylméthyl-3 NRDC 104
RU. 11.679	d-trans éthanochrysanthémate de benzyl- 5, furylméthyle-3
S. Bioalléthrine	voir Bioalléthrine D
Tétraméthrine	d1, cis-trans chrysanthémate de 3,4,5, 6-tétrahydroptalimidométhyl Néopynamine Phthalthrine
Tétraméthrine d-trans	d-trans chrysanthémate de 3,4,5,6- tétrahydroptalimidométhyl

Sachant que la DL 50 per os pour le rat est pour le parathion VOISne de 10 mg/kg et pour le D.D.T. de l'ordre de 200 mg/kg, on peut constater la faible toxicité de tous les pyréthri-noïdes qui, de plus, se dégradent rapidement à la lumière, exception faire pour la perméthrine.

Synergistes des pyréthrines et des pyréthri-noïdes : on peut augmenter l'action insecticide des pyréthrines et des pyréthri-noïdes en leur associant certains composés. Cette découverte date de 1940-1942, époque à laquelle EAGLESON vérifia que l'huile de sésame accroissait l'efficacité des pyréthrines naturelles. L'élément actif fut bientôt découvert et le nom de Sésamine lui fut donné. Depuis, de nombreux autres synergistes furent découverts dont les principaux sont les suivants, accompagnés du nom de l'organisme qui obtint le brevet

Butoxyde de pipéronyl	Fairfield Chemical Division (Etats-Unis) Wellcomme Foundation [Cooper] (Grande-Bretagne)
Sésoxane	Shulton Fine Chemical Ins. (Etats-Unis)
SuIfoxyde	Boyce Thomson Institute (Etats-Unis)
Bucarpolate	Statford Allen and Son, Ltd (Grande-Bretagne)
Safroxane	Takasago Perfumery Co. Ltd (Japon)
M.G.K. 264	Mc Laughlin Gormley King Co. (Etats-Unis)
S. 421	B.A.S.F. (Allemagne fédérale)

Il est à noter que l'emploi de synergistes n'est pas un impératif avec certains pyréthri-noïdes de synthèse.

b) Diflubenzuron

Commercialisé sous le nom Dimilin^R. Il s'agit de $C_{14}H_{10}N_2O_2F_2Cl$ ou 1-(2,6-difluorobenzol)-3-(4-chlorophényl) urée. Cet insecticide d'origine hollandaise (Philips-Duphar) est insoluble dans l'eau (0,2 ppm) et peu volatil. Stable sur le feuillage, sa dégradation dans le sol varie suivant la teneur en matière organique. Le diflubenzuron est essentiellement un larvicide d'ingestion. Il perturbe le dépôt de chitine dans la cuticule en provoquant des lésions graves du tissu endocuticulaire. Les larves, qui ne sont pas tuées ou paralysées immédiatement, meurent au moment de la mue suivante, la cuticule ne pouvant résister à la tension musculaire et à la turgescence pendant la mue. Du fait de son mode d'action particulier, il n'a pas ou peu d'action sur les insectes adultes et la faune auxiliaire. Toxicité: peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 4 650 mg/kg.

Cet insecticide est au stade de l'expérimentation pour les insectes des denrées stockées.

c) Etrimfos

CloH17NZ04 PS ou nom systématique: 0-(6-éthoxy-é-éthyl-4-pyrimidiny1) 0,0 - diméthyle phosphorothioate.

Cette insecticide d'origine suisse (Sandoz) a une toxicité faible DL 50 : 1 800 mg/kg.

Ce nouvel insecticide est pour l'instant expérimenté pour la protection des denrées stockées.

2.2.3. Applicateur d'insecticides nouveaux ou peu utilisés pour la protection des stocks

a) Générateurs d'aérosols

Ces appareils épandent des liquides anhydres ou aqueux. Les plus connus sont ceux désignés sous le nom de "bombe aérosol". Leur capacité est variable mais ne dépasse pas, en général, un litre. En appuyant sur un bouton placé à la partie supérieure du cylindre-réservoir, on permet au gaz liquéfié de s'échapper en entraînant l'insecticide. C'est l'appareil idéal pour le traitement spatial de petits locaux de stockage ou peu accessibles (menuiserie).

Afin de ne pas surdoser les insecticides, on respectera avec soin les conditions d'emploi: temps de pulvérisation en fonction du volume à traiter, vérifier si les denrées alimentaires peuvent être traitées directement ou peuvent être admises dans les locaux traités. Certaines bombes contiennent un gaz inflammable (propane désodorisé) ; dans ce cas, éviter l'emploi de la bombe près d'une flamme.

A côté de ces "dispenseurs" d'aérosol, on peut placer les générateurs d'aérosol mettant en oeuvre soit la chaleur, soit un mécanisme plus ou moins compliqué mû par un moteur. Ces modèles sont en général importants et permettent de traiter rapidement de très grandes surfaces, souvent peu accessibles (toiture d'entrepôt).

b) Évaporateurs en matière plastique

Il s'agit des plaquettes ou diffuseurs au dichlorvos ; principalement une plaquette pour 12m³ est efficace dans les pièces non ventilées, mais qu'il est nécessaire de disposer d'une plaquette pour 5m³ dans les pièces ventilées. Très peu utilisés à l'échelle commerciale; par contre, à l'échelle familiale, ces évaporateurs permettent de lutter principalement contre les lépidoptères.

e) *Spirales fumigènes*

Les spirales fumigènes principalement anti-moustiques ou *coils*, sont largement utilisées depuis de nombreuses années dans l'Asie du sud-est, au Moyen-Orient, en Argentine. Leur emploi a gagné récemment l'Afrique. Au niveau familial, il peut permettre la destruction des lépidoptères.

La plus ancienne fabrication est la suivante : les fleurs de pyrèthre séchées et moulues sont mélangées à de la sciure de bois pulvérisée. On ajoute du nitrate de potassium et de l'eau afin de faire une pâte. Par pression, on fabrique les spirales et on laisse sécher.

Une autre formule est la suivante :

- fleurs de pyrèthre moulues	100 parties en poids
- pâte semi-liquide de farine	50 parties en poids
- sciure moulue	30 parties en poids
- nitrate de potassium	10 parties en poids

La sciure la plus utilisée est celle de *Machillis thunbergii* qui contient un polysaccharide qui forme une sorte de gomme lorsqu'elle est humidifiée.

A la place de fleurs de pyrèthre on peut utiliser du marc de pyrèthre, c'est-à-dire ce qui reste après extraction des pyréthrinés. La règle essentielle est de respecter la teneur de 0,3 % à 0,5 % de pyréthrinés, cette dernière concentration étant préférable. Plus récemment, les pyrétrinoïdes ont été utilisés à la place des pyréthrinés.

d) *Sublimateurs*

Ce mode d'émission d'insecticides a un point commun avec les fumigènes; une source de chaleur contrôlée. Les sublimateurs sont surtout conçus pour la sublimation du lindane. La source de chaleur est soit une plaquette de "Meta", soit une résistance électrique. Actuellement, le même mode de sublimation est adopté à la distribution de pyrétrinoïdes.

On ne saurait trop insister sur la qualité de l'appareil mis en oeuvre dans l'épandage des insecticides: fonctionnement, débit. De la qualité de la distribution de l'insecticide dépend le succès de l'opération. King Kagaku K.K. propose (Brevet japonais 721.3080-R, 1968) de placer la préparation sublimale sur une plaque résistante à la chaleur. La chaleur est produite par un réseau continu qui brûle sous la plaque. Il existe des évaporateurs électriques très efficaces, la température étant parfaitement réglée.

2.2.4. Formulation

Jourdon (1976)² définit ainsi le rôle de la formulation comme étant de rendre aisément utilisables et le plus efficaces possible les principes biologiquement actifs provenant de la synthèse chimique ou biologique.

Il existe un grand nombre de formulations et, parmi les plus récentes, une semble prometteuse pour la protection des stocks: la microencapsulation.

Le concept de microencapsulation est bien connu et plusieurs techniques ont été présentées dans la littérature technique, faisant l'objet de plusieurs brevets³⁻⁴. Le procédé de microencapsulation repose sur le principe classique de polycondensation interfaciale selon lequel une pellicule polymétrique peut être formée à l'interface de deux liquides non miscibles chacun contenant un des monomères de la réaction.

Pour obtenir une spécialité microencapsulée, on disperse en gouttelettes fines dans l'eau, une phase organique contenant la matière active et un des monomères de la réaction. Ensuite, on ajoute dans le système l'autre monomère de la réaction qui est soluble dans l'eau. La polycondensation a lieu instantanément à l'interface des gouttelettes et forme ainsi une pellicule enfermant la matière active.

Ces capsules peuvent être récupérées en poudre sèche puisque le produit final sera appliqué en suspension dans l'eau. Il est préférable de préparer une formulation concentrée de poudre mouillable en suspension dans l'eau en ajoutant les composants nécessaires après un tamisage éliminant les grosses capsules.

Mécanisme d'action; l'avantage principal du procédé de microencapsulation provient du fait qu'il ne change point la nature ou l'activité biologique du produit phytosanitaire encapsulé.

² Jourdon, L. *Phytiatrie-Phytopharmacie*. 1976. 25, 107-122.

Ranney, M.W. *Microencapsulation Technology*. Noyes Development Corporation, Parj Rudge, N.J., 1969.

⁴ Sliwka, W. "Microencapsulation". *Angewandte Chemie, International Edition*, vol. 14, n0 8, aug. 1975.

c'est la capsule qui, par un phénomène tout à fait physique, règle l'action du produit, tant du point de vue de la toxicité que du point de vue de l'activité résiduelle, ou efficacité.

Le mécanisme est compliqué et malgré les recherches effectuées, il n'est pas très précisément défini.

Dans les grandes lignes, on peut assimiler la capsule à un petit réservoir de matière active et la paroi de la capsule à une membrane poreuse à travers laquelle cette matière active peut sortir lentement vers l'extérieur par un procédé de filtration ou de diffusion, ou une combinaison des deux.

Pendant le stockage et la manutention, les capsules sont suspendues dans l'eau. La paroi joue le rôle d'une membrane poreuse, séparant deux liquides non miscibles. Il n'y a donc pas de possibilité de transport de matière à travers la paroi, et la matière active demeure ainsi dans la capsule sans subir aucune dégradation physique ou chimique.

En réalité, comme il n'existe pas de cas d'insolubilité absolue, il y aura toujours une quantité très faible de produit solubilisé dans l'eau qui échappe à l'encapsulation:

Ce mécanisme protège les mammifères (animaux et humains) d'une grave exposition au produit toxique libre par voie dermale ou orale.

Appliquée dans le champ, après évaporation de l'eau, la matière active se libère progressivement à l'extérieur. Son activité biologique et sa dégradation commencent alors seulement.

L'augmentation de persistance de la matière active dépend donc de la vitesse relative des deux phénomènes de libération et dégradation. C'est celui qui est le plus lent qui détermine le résultat.

Si le taux de dégradation est plus haut que le taux de libération, on assiste à une augmentation de persistance très importante. Si par contre, le taux de la libération est plus haut que le taux de dégradation, on ne voit pas de bénéfice important.

Il est donc indispensable de bien choisir les propriétés des capsules pour obtenir un produit microencapsulé valable.

Avantages de la microencapsulation

- réduction de toxicité
- augmentation d'action résiduelle
- augmentation d'efficacité
- volatilité réduite.

Tableau 8.

Choix des formulations et normes d'application

Nature du contenant	Formulations conseillées	Normes d'application
Surface poreuse brique, ciment, béton, argile; bois non peint, etc.	Poudre mouillable (P.M.)	5 litres de bouillie/100 m ² 10 " ")si la surface 20 " " lest très poreuse
Surface non poreuse Métal, plastique, bois peint, etc.	Concentré émulsionnable (C.E.) Concentré autosuspensible (C.A.) ¹	2,5 litres de bouillie/100 m ²
Surface cartonnée (carton, boîte, etc.)	Concentré émulsionnable	2,5 litres de bouillie/100 m ²
Denrée en vrac	Poudre à poudrer	10 kg/ha pour protection des récoltes au champ (préstockage)
au champ ou sur alre d'entreposage	(0,5 à 5 % m.a.)	0,5 à 2 kg/tonne en mélange avec les grains

Pour l'instant, cette nouvelle formulation n'a pas encore été expérimentée pour la protection des stocks.

2.2.5. Normes techniques d'application des pesticides pour la protection des denrées entreposées.

Nous donnons ci-dessous quelques recommandations qu'il est nécessaire de suivre lorsqu'on a la charge de la protection d'un stock de denrées.

a) *Etablissement des normes de stockage*

- volume et surface du contenant (magasin, silo, tas, grenier, etc.)
- volume et surface du contenu (grain, graines, tourteau, farine, etc.)

b) *Etablissement des conditions du traitement*

- choix matière active en fonction du parasite cible
- choix de la formulation en fonction
 - mode d'application (pulvérisation, nébulisation, sublimation, poudrage, etc.)
 - qualité du contenant (étanchéité, état des murs, ventilation, etc.)
- choix des formulations et normes d'application: voir le tableau 8.

III. LA TOXICOLOGIE DES PESTICIDES ET DES FUMIGANTS

3.1. Précautions générales à prendre lors de l'emploi des pesticides

3.1.1. Au cours de la détention

Conserver les produits dans leur emballage d'origine, toujours muni d'une étiquette, dans des locaux frais fermant à clé et à l'écart de tout aliment de l'homme et du bétail. Ces locaux doivent être frais et ventilés pour éviter l'accumulation possible de vapeurs toxiques. S'assurer que le local n'est pas surchauffé.

3.1.2. Au moment de l'emploi

a) *Manipulations préliminaires des produits liquides*

Dans la mesure du possible, on n'ouvrira les récipients qu'après s'être muni de gants de caoutchouc ou d'un chiffon afin d'éviter tout contact avec le produit concentré. Le récipient sera ensuite rincé avec de l'eau fraîche et non avec la solution à pulvériser.

b) Manipulations préliminaires des produits sous forme de poudre

On tiendra compte de ce que certaines poudres toxiques sont très pulvérulentes. Il faut donc toujours ouvrir les emballages sans brusquerie. Pour les poudres à poudrer, ainsi que lors de la désinfection des semences, certaines de ces poudres étant pulvérulentes, le port d'un masque sera nécessaire au moment du versement de la poudre dans la poudreuse ou dans le tambour de désinfection.

c) Que faire des emballages vides ?

En principe, il est recommandé de détruire, quelle que soit leur valeur marchande, les récipients. En aucun cas, il ne faut laisser des récipients entamés sur le terrain. Les objets ayant servi à la dilution (cuillères, récipients, mesures) seront abondamment rincés après chaque emploi.

3.1.3. Au cours des applications

Seuls les adultes en bonne santé doivent s'occuper de la pulvérisation des produits toxiques ou du poudrage.

Il est recommandé d'employer un vêtement de protection, un chapeau, des lunettes protectrices le cas échéant, des gants en caoutchouc dans le cas des produits très toxiques, et aussi de porter sur le visage un écran protecteur ou un tissu pour couvrir le nez et la bouche. En fait, il faut être informé du danger qu'il y a à traiter sans prendre des précautions élémentaires.

Avant de commencer un traitement, on doit s'assurer qu'il n'y a ni hommes, ni animaux domestiques sur la surface à traiter. La pulvérisation et le poudrage ne doivent pas être pratiqués par vent fort. Eviter de fumer et de manger pendant l'opération. Ne pas souffler les ajutages obstrués avec la bouche. Eviter de garder des denrées alimentaires, des boissons et du tabac à proximité de la superficie traitée.

Si le liquide de pulvérisation ou la poudre est répandu sur la peau, il faut l'essuyer tout de suite, laver la peau au savon et à l'eau. Eviter de pulvériser en période de grand soleil, commencer par exemple le traitement de bonne heure le matin ou en fin d'après-midi. Si une personne donne le moindre signe d'intoxication, elle doit immédiatement être éloignée de la zone traitée. Il est recommandé d'établir un roulement afin que les manipulateurs n'effectuent les traitements que pendant des demi-journées.

3.1.4. Après l'emploi

Vider les récipients et le pulvérisateur et les rincer soigneusement. Vu le risque d'intoxication, ne jamais les rincer dans les mares, étangs, ravines, ce qui pourrait causer l'empoisonnement du poisson ou du bétail. Toute personne qui s'est occupée de la pulvérisation ou du poudrage doit changer de vêtements et se laver soigneusement au savon et à l'eau. Après usage, le pulvérisateur, le tuyau et les ajutages doivent être soigneusement nettoyés et rincés. De plus, des soins d'entretien vigilants doivent être apportés au matériel de protection qui comprendra au minimum les accessoires suivants dans le cas de l'emploi de pesticides très toxiques (agriculture avancée) :

- gants de caoutchouc ou plastique, fermant bien aux poignets
- lunettes de pulvérisation
- bottes en caoutchouc
- vêtement spécial de travail
- éventuellement, masque avec filtres à poussière et à gaz, couvrant le nez et la bouche.

Tous ces accessoires doivent être soigneusement et régulièrement nettoyés, en particulier les vêtements spéciaux car il peut se former à l'intérieur de ces derniers, un dépôt de produits qui représente un danger réel pour l'utilisateur.

Ces dernières précautions sont valables pour les entreprises de pulvérisation comme il en existe aux Etats-Unis et en Europe. Il est bien sûr prohibitif qu'un petit agriculteur s'équipe d'un tel matériel. Il devra y substituer surtout du bon sens et de l'esprit d'initiative. Dans cette optique, les agents vulgarisateurs ont un grand rôle à jouer en milieu rural.

3.2. Précautions générales à prendre lors de l'emploi des fumigants

3.2.1. Utilisation des respirateurs (masques à gaz)

Le masque à gaz est la partie la plus importante de l'équipement utilisé pour la protection des personnes se servant de fumigants. Lorsque les traitements de fumigation sont effectués d'une façon régulière, il est préférable que chaque opérateur dispose de son propre masque à gaz de manière à ce qu'il soit lui-même responsable de l'entretien de l'appareil assurant sa protection.

Il ne faut se servir pour les travaux de fumigation que de masques à gaz approuvés pour cet usage par le service ministériel intéressé du pays dans lequel on travaille ou dans lequel le masque a été fabriqué, par exemple par le ministère des Mines ou de la Santé publique.

Tableau 9.
Types de cartouches pour masques à gaz destinés à protéger
les voies respiratoires contre certains fumigants

Fumigant	Destination de la cartouche	Eléments actifs contenus dans la cartouche
Acrylonitrile, sulfure de carbone, tétrachlorure de carbone, chloro- bromure d'éthylène, bichlorure d'éthylène, bromure de méthyle, naphtaline, trichloréthylène (de même que tout mélange de ces gaz, à condition que la concen- tration totale dans l'air ne dépasse pas 2 % en volume)	Vapeurs organiques	Charbon de bois activé
Chloropicrine, oxyde d'éthylène	Vapeurs organiques et gaz acides	Charbon de bois activé et soude caustique ou autre granulé alcalin
Acide cyanhydrique, anhydrique sulfureux	Gaz acides (on trouve sur le mar- ché des cartouches spéciales pour le HCN)	Soude ou ponce caustique ou produit à base d'hydroxyde de bois activé
HCN, chloropicrine	Vapeurs organiques et gaz acides (on trouve sur le mar- ché des cartouches spéciales destinées au mélange HCN- chloropicrine)	Charbon de bois activé et soude caustique ou autre granulé alcalin
Hydrogène phosphoré	Tous gaz	Mélange de divers absorbants

Généralement, l'approbation ministérielle couvre un ensemble complet, c'est pourquoi lorsqu'on achète des masques à gaz d'un certain type, il faut utiliser des cartouches de la même marque.

Dans un certain nombre de pays de langue anglaise, on utilise le terme "respirator" pour désigner un appareil couvrant toute la face, ou le nez et la bouche seuls, de sorte que le porteur ne puisse respirer que l'air filtré par le masque. Aux Etats-Unis et au Canada, ces appareils sont appelés également "gaz masks".

L'air respiré passe à travers un filtre qui retient certains éléments toxiques ou bien arrive par un tube prenant l'air en dehors du local fumigé. Il existe également deux types de masques à circuit fermé

- appareil à réserve d'air, dans lequel de l'air comprimé est emmagasiné dans de petits cylindres (bouteilles) portés par la personne elle-même
- appareil à régénération, dans lequel de l'oxygène est produit dans une capsule spéciale sous l'action de la vapeur d'eau dégagée par la respiration.

Pour la plupart des travaux de fumigation, le type qui convient le mieux est celui à cartouche filtrante. Ces appareils sont généralement appelés masques à gaz du type industriel.

La cartouche de ces masques donne une protection suffisante pendant un temps déterminé lorsque la concentration des gaz toxiques dans l'air ne dépasse pas deux pour cent en volume. Cette cartouche contient un absorbant chimique ou physique qui retient les gaz toxiques contenus dans l'air respiré. Chaque cartouche est destinée à un certain gaz ou à un groupe de gaz. Il est de la plus haute importance de vérifier avant de commencer un travail de fumigation que la cartouche appliquée au masque est bien celle qui convient au gaz ou au mélange de gaz utilisé dans ce travail.

Pour certains travaux de fumigation, comme par exemple, pour l'aspersion de grandes masses de grains en vrac par des fumigants liquides, il peut être utile d'utiliser des masques prenant l'air en dehors du local fumigé ou des masques du type à circuit fermé. Pour la plupart des opérations, cependant, c'est le masque industriel qui convient le mieux.

Les respirateurs du type "à cartouche" sont de petits appareils contenant une ou deux cartouches chimiques filtrant la respiration nasale. Ces respirateurs ne donnent une protection efficace que pour les concentrations ne dépassant pas 0,1 pour cent en volume. Il ne faut les utiliser à aucun stade du travail de fumigation. Les masques contre les poussières ou destinés à protéger des aérosols insecticides ou fongicides ne donnent absolument aucune protection contre les fumigants. Au tableau 9, sont donnés les types de cartouches à utiliser pour les différents fumigants ou groupes de fumigants.

a) *Tympan perforés*

Les personnes ayant les tympan perforés peuvent, en portant un masque, absorber des vapeurs de fumigant par les oreilles par suite de la légère dépression qui se produit au moment de l'inspiration. Le fumigant absorbé ainsi sera expiré à l'intérieur du masque où une concentration toxique peut se former. Ces personnes peuvent généralement éviter ce danger en bouchant leurs oreilles avec du coton imbibé d'huile.

b) *Mode d'emploi et entretien des masques*

Des instructions détaillées sur la manière de régler, de mettre et de vérifier les masques sont données par les fabricants. Ces instructions imprimées se trouvent généralement dans la gaine du masque ou dans un autre endroit commode. Elles doivent être soigneusement étudiées au moment de l'achat et relues avant l'usage. Les chefs d'équipe doivent instruire les hommes nouvellement engagés sur le mode correct d'emploi des masques. Ceux qui n'ont pas porté de masque doivent subir un entraînement journalier pour acquérir une pratique suffisante. Cet entraînement doit être poursuivi jusqu'à ce que le nouvel opérateur puisse faire preuve d'une parfaite aisance dans la manipulation et l'usage du masque.

c) *Cartouches*

La cartouche est l'élément du masque qui extrait le gaz toxique de l'air respiré. Il importe de bien saisir aussi bien son fonctionnement que les limites de son action.

d) *Charge de la cartouche*

Les cartouches du type industriel dont l'usage est recommandé en fumigation peuvent contenir trois sortes de produits :

1. charbon de bois activé absorbant les vapeurs organiques, par exemple le bromure de méthyle, le bichlorure d'éthylène ou le tétrachlorure de carbone
2. des produits chimiques réagissant avec certains gaz, par exemple la soude caustique qui neutralise les gaz acides comme l'acide cyanhydrique et l'anhydride sulfureux;
3. du coton ou un autre élément filtrant pour arrêter les poussières.

Comme nous l'avons déjà dit, les fabricants de masques préviennent que les cartouches n'assurent une protection efficace que si la concentration du gaz toxique dans l'air ne dépasse pas deux pour cent en volume. De plus, à cette concentration ou près de cette concentration maximum, plus grande que celle pratiquée normalement par fumigation et ayant une odeur caractéristique par exemple pour l'acide cyanhydrique ou la chloropicrine, l'opérateur est prévenu de la saturation

de la cartouche par la perception de l'odeur du fumigant utilisé. Le bromure de méthyle n'ayant pas d'odeur en concentrations relativement faibles, des précautions spéciales doivent être prises.

e) Mode d'emploi et entretien des cartouches

Le haut et le bas d'une cartouche neuve sont scellés. Les fabricants impriment une date limite sur l'étiquette, date à laquelle la cartouche doit être mise au rebut, même si les sceaux n'ont pas été brisés.

La réserve de cartouches doit être conservée en un endroit frais, sec, bien ventilé et à l'abri des gaz toxiques. Avant d'utiliser une cartouche, il faut prendre les précautions suivantes :

1. au moment où l'on fixe la cartouche sur le masque après avoir brisé le sceau supérieur, il ne faut pas oublier d'inscrire la date. Le mieux est de l'inscrire sur une petite étiquette en tissu que l'on attache au masque près de la cartouche. Cette étiquette peut servir également à enregistrer les temps d'utilisation de la cartouche;
2. tant que la cartouche n'a pas servi, même si le bouchon est enlevé, elle peut être conservée pendant un an dans les conditions indiquées plus haut, après quoi elle doit être mise au rebut ;
3. avant de se servir du masque, il faut enlever le capuchon ou le sceau qui ferme l'entrée de l'air dans la cartouche. La date doit également être inscrite sur l'étiquette. Lorsque ce capuchon est enlevé, même si la cartouche n'a pas servi, elle doit être remplacée après six mois ;
4. après chaque opération de fumigation pendant laquelle on s'est servi du masque, la cartouche doit être mise immédiatement au rebut. Lorsque les opérateurs sont soumis au fumigant pendant leur travail, l'application du fumigant et l'aération doivent être considérées comme deux opérations séparées et la cartouche doit être remplacée après chacune d'elles.

Lorsque les opérateurs sont soumis à de faibles concentrations, par exemple pendant la phase d'aération ou de contrôle des locaux fumigés, la cartouche doit être remplacée après deux heures d'usage (contrôlées par l'étiquette). Une grande marge de sécurité doit être prise dans l'estimation des temps d'utilisation. La santé des opérateurs mérite bien qu'on lui sacrifie plusieurs cartouches, dont le prix est d'ailleurs assez bas. S'il y a le moindre doute sur le temps d'utilisation d'une cartouche, elle doit être mise au rebut.

5. lorsqu'une cartouche est mise au rebut, il faut inscrire sur l'étiquette l'indication indélébile et claire "rebut" ou autre avertissement équivalent. Elle doit être jetée immédiatement de façon à ce que personne ne puisse la reprendre et la réutiliser;
6. les cartouches dont l'emballage apparaît endommagé doivent être considérées comme mauvaises et rejetées. Un coup sur la boîte métallique peut déplacer les produits contenus et créer un vide permettant aux gaz toxiques de traverser la cartouche;
7. l'eau endommage la cartouche. Elle peut pénétrer à l'intérieur du masque par le tuyau de raccord. Il faut donc protéger la cartouche lorsqu'on nettoie et désinfecte le masque.

fJ Vérification du masque avant usage

Avant de pénétrer dans une atmosphère contaminée ou d'entreprendre une opération pour laquelle le port du masque est nécessaire, il faut s'assurer également que le masque fonctionne correctement du point de vue mécanique.

Eléments à vérifier.

1. La cartouche est-elle du type voulu?
2. La concentration maximum possible en fumigant ne dépasse-t-elle pas les limites d'absorption de la cartouche? (Comme nous l'avons déjà indiqué, les cartouches du type industriel sont prévues pour une concentration du fumigant dans l'air ne dépassant pas deux pour cent en volume. Dans les tableaux que nous donnons pour les principaux fumigants, nous indiquons la valeur correspondante en grammes par mètre cube.)
3. La cartouche est-elle suffisamment fraîche pour donner la protection voulue? Pour le savoir, il faut s'en reporter aux indications de l'étiquette attachée au masque.
4. La protection des voies respiratoires étant assurée, y a-t-il possibilité d'absorption de gaz par la peau? (Cette question se pose surtout pour l'acide cyanhydrique mais se présente aussi pour les autres fumigants.)
5. Reste-t-il suffisamment d'oxygène dans l'atmosphère pour permettre une respiration normale à l'intérieur du masque?
6. N'y a-t-il pas d'autres gaz nocifs en dehors des fumigants utilisés? Les cartouches normales du type industriel utilisées en fumigation n'assurent pas la protection contre l'oxyde de carbone ou le gaz d'éclairage.

gJ Vérification de l'étanchéité du masque

Après avoir mis le masque et avant d'entrer dans l'atmosphère contaminée, il est indispensable de vérifier que le masque s'applique bien sur le visage, ainsi que sa parfaite étanchéité. Cette vérification se fait de la manière suivante :

1. placer la main sans l'appuyer sur la prise d'air au bas de la cartouche et aspirer profondément. Si le masque est bien appliqué, on sent un fort courant d'air à l'entrée de la cartouche
2. lorsque la cartouche est raccordée au masque par un tuyau, pincer le tuyau fortement. Si le masque est bien appliqué et n'a pas de fuites il n'est pas possible d'aspirer de l'air
3. lorsqu'il n'y a pas de tuyau de raccord, appuyer la main sur la cartouche pour empêcher l'entrée de l'air. Si le masque est bien appliqué, l'aspiration de l'air devient impossible.

3.2.2. Utilisation des gaz avertisseurs

Des gaz avertisseurs sont quelquefois mélangés en faible proportion à certains fumigants. Le plus important de ces agents avertisseurs est la chloropicrine, que l'on ajoute aussi bien à l'acide cyanhydrique qu'au bromure de méthyle. Les gaz avertisseurs sont utiles pour donner l'alerte aux opérateurs ou aux autres personnes se trouvant à proximité du lieu où l'on procède à une fumigation.

Mais il convient de souligner énergiquement que les gaz avertisseurs ne possèdent pas les mêmes propriétés physiques que les gaz toxiques auxquels ils sont mélangés. Leur absorption est parfois plus rapide; c'est ainsi qu'il peut arriver pendant une fumigation que la chloropicrine soit absorbée par de nombreux produits plus rapidement que le bromure de méthyle et la disparition de la chloropicrine du mélange peut créer une fausse impression de sécurité chez les personnes qui devraient être prévenues en cas de fuites ou d'autres dangers. De plus, il peut aussi arriver que les cartouches des masques à gaz retiennent le gaz avertisseur plus facilement absorbé, tout en laissant passer avec l'air inhalé les fumigants inodores tels que le bromure de méthyle.

Dans certaines conditions, il est possible d'utiliser efficacement la chloropicrine en tant que gaz de préavertissement dans des structures telles que des navires, où des passagers clandestins peuvent être dissimulés, ou bien dans des bâtiments de grande dimension dont l'inspection complète est difficile à réaliser. Le gaz de préavertissement est appliqué séparément de quinze à trente minutes avant le gaz fumigant principal. Pour la chloropicrine, employée comme gaz de

préavertissement, on a préconisé la dose de 6 g pour 100 m³. Ce produit peut être appliqué en imbibant de la quantité voulue un tampon d'ouate ou de laine de verre, posé dans un récipient plat et ouvert, lui-même placé devant un ventilateur en marche pour accélérer l'évaporation.