

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN
FACULTE DES SCIENCES
LABORATOIRE D'ECOLOGIE GENERALE ET EXPERIMENTALE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ETHOLOGIE DE MAMESTRA BRASSICAE L.
(LEP:NOCTUIDAE) EN VUE DE LA MISE AU POINT D'UNE STRATEGIE
DE LUTTE A L'AIDE DE BACILLUS THURINGIENSIS B.

(Volume I)

Dissertation Doctorale présentée
en vue de l'obtention du Grade de
Docteur en Sciences Naturelles
Appliquées

par

Rafaël ESPINEL M.

REMERCIEMENTS -

Rédiger cette page est pour moi un réel plaisir...
C'est sans doute la seule de cette thèse, qui n'a pas exigé
de réflexion.
Il m'a fallu tout simplement laisser parler le coeur...

Monsieur le Professeur Ph. LEBRUN a eu la gentillesse
de m'accueillir dans son laboratoire. A son contact, au
cours de ces années, il m'a appris les bases de l'écologie
mais surtout, il m'a montré comment il est toujours possible
de trouver une bonne solution dans les moments les plus dif-
ficiles. Qu'il trouve ici l'expression d'un chaleureux merci.

Messieurs les Professeurs A. SOENEN et A. BOUILLON
qui m'ont permis de compléter ma formation dans les domaines
de l'entomologie et l'éthologie et qui m'ont fait l'honneur
d'accepter, pour la deuxième fois, d'être parmi les membres
du Jury de fin d'études, qu'ils trouvent ici toute ma
reconnaissance.

Il m'est agréable de remercier Messieurs les Professeurs
J. MEYER et A. HERBILLON d'avoir bien voulu faire partie du
Jury.

Grâce à M. Philippe d'Oultremont, Directeur de Recherches
à Solvay, nous avons pu disposer des produits nécessaires à
nos recherches sur le *Bacillus thuringiensis*. Nous lui
adressons un grand merci.

Que M. A. LAVERDE qui m'a fait part de son expérience dans le terrain de la commercialisation de la bactérie, trouve ici mes remerciements.

A Messieurs HISTACE, cultivateurs à Meux et St Denis qui m'ont facilité l'accès à leurs cultures. L'accueil de ces braves Wallons ne peut être oublié.

M. J.M.DEBRY sait combien j'ai apprécié son aide opportune et son assistance dans la rédaction des premiers chapitres.

Melle A. GASOGO m'a montré jusqu'où la générosité peut aller. Sans son aide précieuse, ce travail serait peut-être encore un brouillon illisible. Merci de tout coeur.

M. P. VLAYEN n'a jamais refusé de me fournir des renseignements relatifs à la bactérie ; qu'il trouve ici mes remerciements.

Pour la partie technique, je tiens à remercier très sincèrement Mme S. EVRARD-DEGENEFTE, MM. Emile JAL, Alfredo MARTINEZ, E. LEBOULENGE, Mme COOPENS et Melle C. THOMAS qui, avec rapidité, efficacité et qualité, a dactylographié ce travail.

Enfin, merci à tous ceux qui m'ont soutenu et aidé par leur gentillesse et leur affection.

A mon fils, Rafaël Andrés qui a "accepté" d'être né dans un pays peu ensoleillé.

A ma fille, Maria Clara qui a supporté un papa souvent très occupé et à Clara, mon épouse ; sans sa patience et sa volonté de fer, je n'aurais pu mener à terme ce travail. A vous tous, je dédie cet ouvrage.

Que l'AGCD et le BCTM trouvent également ici mes remerciements pour leur assistance économique tout au long de mon séjour en Belgique.

TABLE DES MATIERES

PREMIER VOLUME

I-	INTRODUCTION	1.
	A - Aspects biologiques	5.
	B - Aspects comportementaux	5.
	C - Aspects appliqués	6.
II-	REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'UTILISATION DU <u>BACILLUS THURINGIENSIS B.</u>	
	"ACTUALITE ET PERSPECTIVES 1970-1981"	8.
	A - Introduction	9.
	B - Classification et formulations du <u>Bacillus thuringiensis B.</u>	10.
	C - La composition et le mode d'action du <u>Bacillus thuringiensis</u>	15.
	D - Ecologie du <u>Bacillus thuringiensis</u> et utilisation du produit formulé	19.
	E - Aspects socio-économiques de la commercialisation et de l'adoption du <u>Bacillus thuringiensis</u> dans l'usage courant en milieux agricoles	30.
	F - Conclusion	33.
III-	ASPECTS BIOLOGIQUES DE <u>MAMESTRA BRASSICAE L.</u>	35.
	A - Introduction	36.
	1- Taxonomie	38.
	2- Cycle de vie	39.
	3- Distribution et dégâts de <u>Mamestra brassicae</u>	43.
	B - L'élevage de <u>Mamestra brassicae L.</u> sur milieux naturel et semi-naturel	45.
	1- L'élevage sur milieu naturel	45.
	2- L'élevage de <u>Mamestra brassicae L.</u> sur nourriture semi-synthétique	66.
	C - L'amélioration des élevages de <u>Mamestra brassicae L.</u>	80.
	1- Détermination du sex:ratio et du coefficient d'agrégation de la ponte de <u>Mamestra brassicae</u> en laboratoire	80.

2- Détermination de la densité optimale des imagos de <u>Mamestra brassicae</u> dans les pondoirs en laboratoire	91.
IV- ASPECTS COMPORTEMENTAUX DES IMAGOS DE <u>MAMESTRA BRASSICAE L.</u>	95.
- Le comportement des imagos de <u>Mamestra brassicae</u> L.	96.
1- Stade nymphal, éclosion des imagos et comportement précopulatoire	96.
2- Le comportement d'appel des femelles et celui de réponse des mâles de <u>Mamestra brassicae</u> L. en laboratoire	106.
3- Etude et détermination de la période d'accouplement de <u>Mamestra brassicae</u>	112.
4- Détermination de l'âge d'accouplement pour les mâles et les femelles de <u>Mamestra brassicae</u> en laboratoire	114.
5- Etudes sur l'accouplement de <u>Mamestra brassicae</u> en fonction du temps, de la capacité copulatoire et de l'intervention du <u>Bacillus thuringiensis</u> en laboratoire	124.
6- Le comportement de ponte de <u>Mamestra brassicae</u> L.	142.

DEUXIEME VOLUME

V- ASPECTS APPLIQUES, OU L'UTILISATION DU <u>BACILLUS THURINGIENSIS</u> B. CONTRE <u>MAMESTRA BRASSICAE L.</u>	194.
A - Etude de la sensibilité de <u>Mamestra brassicae</u> à 5 formulations d'un insecticide bactérien, à base de <u>Bacillus thuringiensis</u> (SI, III _a , III _b)	195.
B - Méthode de mesure de la consommation de larves d'insectes phytophages	209.
C - Approche nutritionnelle quantitative chez <u>Mamestra brassicae</u> vis-à-vis de <u>Brassica oleracea</u>	221.
D - Evolution de 3 niveaux de densité de <u>Mamestra brassicae</u> dans le temps sur <u>Brassica oleracea</u> dans des conditions de serre	247.
E - Effets du <u>Bacillus thuringiensis</u> sur l'évolution des densités et de la biomasse de <u>Mamestra brassicae</u> sur <u>B. oleracea</u> en conditions de serre	259.

F - Etude en laboratoire du comportement alimentaire de <u>Mamestra (Barathra) Brassicae</u> L. en présence de feuillage traité avec <u>Bacillus thuringiensis</u> B.	265.
VI- ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA LUTTE CONTRE <u>MAMESTRA BRASSICAE L.</u>	293.
A - Introduction	294.
B - Définitions	299.
C - Eléments de base pour le calcul théorique des seuils économiques de <u>Mamestra brassicae</u> sur <u>Brassica oleracea</u>	301.
D - Discussion - considération sur nos données de base pour les calculs	311.
E - Conclusion	315.
VII- CONCLUSIONS	323.
VIII-BIBLIOGRAPHIE	330.
IX - TABLEAUX ET FIGURES EN ANNEXE	358.

I - INTRODUCTION

Les rapports Insecte - Plante-hôte ne sont pas possibles sans l'existence d'une coïncidence saisonnière, géographique et écologique préalables, mais en plus, il faut que l'insecte soit capable de surmonter des barrières aussi fortes que celles que les plantes peuvent lui opposer sur les plans PHYSIQUE, NUTRITIONNEL et PHYSIOLOGIQUE des ravageurs (15). C'est ainsi que les insectes et les végétaux s'intègrent dans les écosystèmes et c'est pourquoi, l'étude et la mise en évidence des mécanismes d'INTEGRATION sont toujours à la base de toute action qui se veut intelligente contre les ravageurs, comme c'est le cas de la lutte intégrée : "approche écologique à large spectre qui fait appel à toute une série de technologies qui s'intègrent dans un seul système de régulation des populations de ravageurs" (266). De même, la philosophie de ce que l'on appelle Pest Management : "the reduction of Pest problems by actions selected after the life systems of the pests are understood and the ecological as well as economic consequences of these actions have been predicted, as accurately as possible, to be in the best interest of mankind" (20) (233) fait aussi appel aux connaissances sur les mécanismes d'interaction et d'intégration des organismes avec le milieu.

Une lutte bien conçue représente la prise de risques calculés visant l'interférence de ces mécanismes d'interdépendance entre l'insecte et la plante-hôte, le but primordial doit être celui de rendre ces ravageurs inoffensifs ou économiquement supportables.

L'élimination totale d'un ravageur reste un but utopique qui peut entraîner des problèmes bien plus graves ou tout au moins identiques à ceux de l'espèce éliminée.

C'est pourquoi, il est toujours d'un intérêt définitif d'entreprendre l'étude des rapports trophiques entre les insectes et les végétaux et cela au niveau spécifique, étant donné d'une part que l'agriculture devient très spécialisée et qu'elle pose des problèmes très spécifiques d'autre part. Il ne s'agit plus d'une espèce végétale face à une espèce animale, mais de rapports entre par exemple, une variété végétale face à des espèces ou des sous-espèces animales dont les liens d'interdépendance sont plus forts.

D'autre part, les phénotypes très variés des cultures permettent une spécialisation des rapports insecte - plante-hôte. Ces rapports restent inconnus dans la majorité des cas et la lutte devient alors aveugle ou aventureuse. Il est dangereux de généraliser sur ces types de rapports, d'autant plus que le nombre de ravageurs est assez grand (quelques 3.000 espèces hexapodes à l'heure actuelle) et que la potentialité d'un million d'espèces d'insectes connues nous obligent à réfléchir avant de nous décider pour une technique ou pour une méthode de lutte sans une étude préalable de leur portée et de leurs implications sur les plans écologiques, social et économique.

Nous avons d'une part, l'insecte défini par LE MAGNEN 1976 (154) comme un ... "système physico-chimique qui défend, entretient et reproduit sa structure par des relations actives avec son environnement au moyen de comportements particuliers".

D'autre part, nous avons le végétal apparemment passif dans ses rapports, mais également participant des liens de dépendance inter-spécifiques.

Chez l'insecte, nous pouvons signaler trois comportements qui sont à la base de l'importance sociale ou économique d'une espèce. Le comportement DEFENSIF, le comportement ALIMENTAIRE et le comportement SEXUEL. De manière réciproque, nous constatons des phénomènes de CONSERVATION, de NUTRITION et de SURVIE des espèces.

L'environnement agissant sur ces facteurs comportementaux produit les phénomènes de sélection, à la base des interdépendances INTER et INTRASPECIFIQUES.

Au niveau du ravageur, la lutte est souvent dirigée sur les mécanismes de défense des insectes ou sur les mécanismes d'alimentation et de reproduction. C'est dans ces derniers mécanismes que s'inscrit notre travail.

Nous présenterons une approche visant à mettre en évidence des liens possibles de dépendance de Mamestra brassicae L. vis-à-vis Brassica oleracea, notamment sur les plans reproductif et nutritionnel.

La justification de notre démarche sur Mamestra brassicae est d'ordre multiple :

Sur le plan général purement académique, elle nous permettra d'évaluer, d'améliorer et de mettre en oeuvre nos connaissances sur l'entomologie et l'éthologie des Noctuidae.

Sur le plan particulier du Mamestra brassicae L., il y aura la possibilité de mettre en évidence un nombre de facteurs qui auront une grande importance dans le but d'interférer avec les rapports ravageur - plante-hôte.

Sur le plan appliqué, l'information et les résultats que nous attendons sur le comportement de Mamestra brassicae L. pourront peut-être suggérer des méthodes ou des techniques d'applicabilité pratique et directe sur d'autres problèmes similaires à celui qui nous occupe.

- Antécédents du problème -

Notre travail sur Mamestra brassicae L. entamé en 1976 dont ses premiers fruits ont vu le jour en 1978 (82) nous a permis d'ouvrir toute une série de possibilités de recherche qui s'inscrivent très bien dans le cadre de la lutte intégrée, axe central des recherches sur la gestion écologique des agro-écosystèmes au

Laboratoire d'Ecologie Animale à l'Université Catholique de Louvain.

Nos résultats préalables nous ont suggéré l'approche comportementale de Mamestra brassicae L. comme étant une voie peu ou non exploitée malgré l'énorme intérêt et la portée d'une telle approche.

Mamestra brassicae étant défini à plusieurs reprises (18), (38), (82) comme un insecte ravageur d'importance économique, et en plus étant une espèce peu sensible à l'action des nouvelles armes de lutte microbiologique (tel le cas de Mamestra brassicae face au Bacillus thuringiensis B.), il nous a semblé important d'essayer de déceler les raisons de cette si basse susceptibilité sur le comportement de Mamestra brassicae. Les études concernant le Bacillus thuringiensis étant très nombreuses, peu ou rien n'a été dit sur le domaine du comportement des ravageurs face aux microbes qui pourraient voir augmenter leur efficacité suite au blocage des mécanismes comportementaux faisant partie du phénomène de non-susceptibilité des ravageurs.

Nos recherches ont suivi l'ordre et les objectifs qui sont montrés au Tableau I-1.

TABLEAU I-1 - ETAPES ET OBJECTIFS POURSUIVIS DANS NOS
RECHERCHES SUR LA LUTTE CONTRE MAMESTRA BRASSICAE L.

- A - ASPECTS BIOLOGIQUES -

ETAPE	OBJECTIFS
Mise à jour de la littérature concernant l'utilisation du <u>Bacillus thuringiensis</u> (B.) et l'étude de <u>Mamestra brassicae</u>	Etablir une base théorique pour la détermination des expériences à réaliser
L'élevage de <u>Mamestra brassicae</u> sur milieux naturel et semi-naturel	Fournir en permanence le matériel nécessaire aux recherches de laboratoire et avoir une connaissance complète du comportement de <u>Mamestra brassicae</u> en laboratoire.
Le rendement dans les élevages de <u>Mamestra brassicae</u>	Uniformiser et améliorer les conditions de reproduction de <u>Mamestra brassicae</u> en laboratoire. Etudier le comportement de ponte et déterminer le sex : ratio idéal pour l'élevage de <u>Mamestra brassicae</u>

- B - ASPECTS COMPORTEMENTAUX -

ETAPE	OBJECTIFS
Etude du comportement des imagos des <u>Mamestra brassicae</u>	Etudier les aspects d'éclosion des imagos et de la reproduction de <u>Mamestra brassicae</u> en laboratoire.
	Etudier et décrire la morphologie externe des genitalia de <u>Mamestra brassicae</u> et du mécanisme d'accouplement. Etudier la durée et la capacité d'accouplement de <u>Mamestra brassicae</u> L.
	Comparer les souches sauvages avec celles du laboratoire pour mieux évaluer les résultats du laboratoire face aux phénomènes tels qu'ils ont lieu dans la nature.

Chercher et définir l'existence d'un comportement d'appel chez les femelles et son évolution dans le temps.

Etudier le comportement des mâles face aux femelles en train d'appeler.

Etudier le comportement de ponte de Mamestra brassicae en laboratoire et sur la plante-hôte dans le champ.

Etablir le ou les facteurs qui pourraient jouer un rôle dans la recherche du substrat de ponte par les femelles, notamment : l'odeur, la couleur, la texture, l'allure, la position et la variété de la plante-hôte.

- C - ASPECTS APPLIQUES -

ETAPE	OBJECTIFS
Etude sur la sensibilité des chenilles de <u>Mamestra brassicae</u> au <u>Bacillus thuringiensis</u> .	Faire l'état de la situation actuelle sur les réponses de <u>Mamestra brassicae</u> face aux différentes formulations du <u>Bacillus thuringiensis</u> en disponibilité sur le marché européen.
Etude de méthodes alternatives pour la compréhension de des réponses de <u>Mamestra brassicae</u> face aux insecticides microbiologiques.	La mise au point d'une technique de mesure de la consommation de nourriture par des larves phytophages.
La croissance et le développement des chenilles de <u>Mamestra brassicae</u> en laboratoire sur nourriture naturelle.	Mettre en évidence l'impact différentiel sur la croissance et la nutrition des chenilles de <u>Mamestra brassicae</u> par deux variétés de <u>Brassica oleracea</u> L.
	Mettre en évidence un facteur nutritionnel, voire un possible phénomène d'antibiose de la part de <u>Brassica oleracea</u> L. face à <u>Mamestra brassicae</u> L.

Approche sur l'impact de Bacillus thuringiensis sur la densité des chenilles de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea en serre

Comportement des chenilles de Mamestra brassicae face au Bacillus thuringiensis.

Aspects socio-économiques du problème de Mamestra brassicae dans les cultures maraîchères. Applications au cas de Brassica oleracea.

Etudier l'impact du Bacillus thuringiensis sur la densité et la biomasse de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea infestée artificiellement.

Mettre en évidence l'action protectrice de Brassica oleracea par le Bacillus thuringiensis.

Mettre en évidence l'existence d'un facteur comportemental qui pourrait expliquer la faible sensibilité des chenilles de Mamestra brassicae au Bacillus thuringiensis.

Etudier l'action indépendante des composants actifs et non actifs d'une formulation commerciale du Bacillus thuringiensis face aux chenilles de Mamestra brassicae.

Mettre en évidence l'action des cristaux de Bacillus thuringiensis sur Mamestra brassicae par voie de l'étude de la consommation d'oxygène des chenilles.

Etude préalable à l'établissement des seuils de lutte contre Mamestra brassicae.

Développement théorique d'une méthode utile pour la détermination des seuils de contrôle de Mamestra brassicae.

II - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'UTILISATION
DU BACILLUS THURINGIENSIS B.

"ACTUALITE ET PERSPECTIVES 1970 - 1981"

A - INTRODUCTION

Bacillus thuringiensis Berliner (B; th.), isolé pour la première fois au Japon en 1905 par ISHIWATA, redécouvert par BERLINER en 1911, dans une population d'Ephestia (Anagasta) kuehniella Zeller, ne devint une célébrité qu'après 1954, lors des problèmes posés par l'utilisation exagérée du DDT.

Faute de recherches plus approfondies et de la mise en valeur des ressources de la planète, il a fallu plus d'un demi-siècle pour que la commercialisation de cette bactérie à l'échelle mondiale soit une réalité (5) (7) (12) (17) (36) (37) (51) (54) (86) (89) (118) (121) (130) (135) (138) (141) (174) (178) (192) (194) (256) (292) (300) (320) (323).

D'abord en France, puis aux Etats-Unis, le développement de la recherche sur le Bacillus thuringiensis a suivi en général deux étapes essentielles.

La première est la recherche fondamentale, d'ailleurs toujours en cours, qui porte sur la morphologie, la biologie, la physiologie, la taxonomie, l'écologie et la toxicologie.

La seconde, appliquée, porte sur la commercialisation et par conséquent, sur la recherche de méthodes d'application du produit déjà formulé (146) (191) (256) et son efficacité d'action ou son innocuité vis-à-vis des espèces tant nuisibles qu'utiles (4) (6) (208) (236) (170) (279).

D'une façon constante, on peut trouver dans les revues spécialisées, des mises au point bibliographiques très complètes sur Bacillus thuringiensis, parmi lesquelles celles de HEIMPEL, de BARJAC et BONNEFOI, de KRIEG et de PELISSER sont particulièrement importantes (112) (17) (44).

Cette révision reprend l'approche que nous avons faite en 1978 (82) en ajoutant les références qui ont paru entre 1978 et 1981_a. Notre synthèse prétend apporter non seulement les références mais aussi un point de vue sur ce que l'utilisation et l'avenir du Bacillus thuringiensis, peut nous offrir dans le cadre de la lutte

intégrée.

La variété des revues et publications scientifiques permet une diffusion très vaste de la recherche sur Bacillus thuringiensis mais parfois aussi une certaine dilution des résultats qui rend difficile la synthèse de tous ces travaux dans une seule publication (82).

Notre but sera de contribuer à ce travail de condensation d'un sujet aussi vaste que passionnant.

B - CLASSIFICATION ET FORMULATIONS DE BACILLUS THURINGIENSIS B.

Malgré les recherches très approfondies qui ont été menées en France, aux Etats-Unis, au Canada, en Union Soviétique pour ne citer que les principaux pays concernés, il n'y a toujours pas unanimité en ce qui concerne les critères à retenir lors de l'identification des différentes souches du Bacillus thuringiensis B. La réunion de Wagenmingen (42) en Hollande, a été une approche très importante dans le sens d'une homogénéisation dans les critères taxonomiques du Bacillus thuringiensis.

Une des plus grandes difficultés réside dans l'impossibilité d'établir des techniques d'identification standardisées facilement reproductibles qui puissent échapper à la variabilité des souches (26).

En 1978 (82), on notait la détermination de plus de 70 caractéristiques différentielles de plus de 700 souches que comporte la collection du Centre International de Référence pour Bacillus thuringiensis (17). Ce nombre de critères augmentera certainement à mesure que la recherche sera poursuivie dans les domaines très divers tels que : l'agglutination, les antigènes et même ceux qui portent sur les mécanismes d'action de Bacillus thuringiensis qui jusqu'à présent, ne sont pas tout à fait élucidés.

C'est ainsi qu'on est déjà arrivé à déterminer au moins 17 sérotypes chez Bacillus thuringiensis et l'avancement des recherches sur des nouveaux hôtes et biotopes d'origine , mettront en évidence de nouvelles variétés de ce bacille, qui vont accroître les possibilités dans la lutte microbiologique contre les ravageurs des cultures et des vecteurs de maladies (47) (144).

Des recherches menées au Japon par TANAKA K. et ses collaborateurs (291) ont montré l'existence de nouvelles fractions faisant partie de l'exotoxine du Bacillus thuringiensis var thuringiensis B. qu'ils ont appelées F-I et F-II , chacune ayant une adénine, un phosphore et une ribose dans sa composition moléculaire. La fraction F-I étant 10 fois plus toxique que la F-II chez Bombyx mori. Des fractions comme celles-ci pourront aussi servir comme critère de classification du Bacillus thuringiensis au moins du point de vue toxicologique.

Enfin, chez les Russes, on fait mention de variétés non répertoriées dans la collection du Centre International de Référence pour Bacillus thuringiensis (42); cela met en évidence la nécessité d'un accord de nomenclature au profit d'une utilisation plus efficace du potentiel du Bacillus thuringiensis.

D'autre part, puisque la physiologie (319), la morphologie, la biochimie et la génétique du Bacillus thuringiensis sont des branches qui commencent à être exploitées, nous sommes de nouveau en face d'un très grand éventail de possibilités d'augmenter les critères de la taxonomie actuelle et cela, sans tenir compte des résultats des études sur les rapports insecte-hôte - pathogène ou les critères de spécificité et de sensibilité dans les rapports souche - insecte-hôte.

Sous la direction de BALLY en 1977 (17), des travaux de synthèse sur le Bacillus thuringiensis ont été publiés en Europe, ceux de H. de BARJAC, MARTOURET et CHARMOILLE ; le premier cité fait un résumé très intéressant de la recherche fondamentale réalisée dans le monde sur la composition du Bacillus thuringiensis; MARTOURET à son tour, a fait une analyse de l'évolution dans l'utilisation du Bacillus thuringiensis et CHARMOILLE a présenté une

approche des techniques de formulation et de production à échelle industrielle de la bactérie.

Les travaux de KRIEG (44), de BARJAC et BONNEFOI sont des références fondamentales dans le domaine taxonomique (69). Celui de HEIMPEL (26) sert aussi de synthèse très importante sur le plan d'utilisation du Bacillus thuringiensis.

Le Tableau II-1 nous montre les variétés de Bacillus thuringiensis isolées à partir des hôtes ou de biotopes très diverses dans le monde ; il a été constitué d'après les références consultées , notamment celles de BUSTILLO (49), LEBRUN (161) et ESPINEL (82).

Le Tableau II-2 montre une liste des formulations commerciales produites dans le monde à partir des variétés différentes du Bacillus thuringiensis B.

TABLEAU II-1 - Variétés du Bacillus thuringiensis isolées à partir des hôtes j et biotopes dans diverses contrées du monde, groupées selon le sérotype H.

VARIETE	IDENTIFICATION ETABLIE PAR	SERO- TYPE	HÔTE OU BIOTOPE
<u>Thuringiensis</u> (<u>amuscotoxicus</u>)	Berliner (1911)	I	<u>Anagasta kuehniella</u> Z.
<u>finitimus</u>	Heimpel et Angus	II	<u>Malacosoma disstria</u>
<u>alesti</u>	Toumanoff et Vago	IIIa	<u>Bombyx mori</u>
<u>kurstaki</u>	de Barjac et Le Mille	IIIa, b	<u>B. mori</u>
<u>sotto</u>	Ishiwata	IVa,b,	<u>B. mori</u>
<u>dendrolimus</u>	Talalaev	IVa,b,	<u>Dendrolimus sibericus</u>
<u>kenyae</u>	Bonnefoi et de Barjac	IVa,c,	
<u>galleriae</u>	Heimpel	V,a,b,	<u>Galleria mellonella</u>
<u>canadensis</u>	Dulmage	Va,b,	
<u>entomocidus</u>	Heimpel et Angus	VI	<u>Plodia interpunctella</u>
<u>subtoxicus</u>	Heimpel et Angus	VI	<u>Aphomia gularis</u>
<u>aizawai</u> (<u>pacificus</u>)	Heimpel	VII	<u>Cadra cautella</u>
<u>morrisoni</u>	de Barjac et Bonnefoi	VIII	<u>A. kuehniella</u>
<u>tolworthi</u>	Norris	IX	
<u>darmstadiensis</u>	Krieg	X	<u>G. mellonella</u>
<u>toumanoffi</u>	Krieg	XI	<u>G. mellonella</u>
<u>thompsoni</u>	de Barjac et Thompson	XII	<u>G. mellonella</u>
<u>pakistani</u>	de Barjac (1977)	XIII	<u>C. pomonella</u>
<u>israeliensis</u>	de Barjac (1978)	XIV	Sols de mares à moustiques
<u>dakota</u>	de Lucca (1979)	?	Sols en culture de céréales
<u>indiana</u>	de Lucca (1979)	XV	Sols en culture de soja
<u>whanensis</u>	wan yu (1979)	?	<u>P. Litura</u>

TABLEAU II-2 - Formulations commerciales produites à partir des variétés différentes de Bacillus thuringiensis dans le monde (* : hors du marché)

Nom commercial	Nom taxonomique	Séro-type	Pays	Producteur
AGRITROL	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	USA	Marck & Co
BACTOSPEINE	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	Belgique France	R. Bellon-Pasteur Solway
BACTOSPEINE	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>alesti</u> et <u>Kurstaki</u>	III	Belgique France	R. Bellon-Pasteur Solway
BACTIMOS	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>israeliensis</u>	XIV	Belgique France	R. Bellon-Pasteur Solway
BAKTHANE	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	USA	Rohm and Haas
BAKTUKAL	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	Yugos- lavie	Serum Zabd Kalinovika
BATHURIN	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	Tchécoslo- vaquie	Chemapol Biokрма
BIOTROL 50	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>Th. Berliner</u>	I	USA	Nutrilita
BIOTROL 25W	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>Th. Berliner</u>	I	USA	Nutrilita
BIOTROL E 58	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>Th. Berliner</u>	I	USA	Nutrilita
BIOTROL X-K	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>alesti</u> , <u>Kurstaki</u>	III	USA	Nutrilita
BIOTROL BTB	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>Thuringiensis</u>	I	USA	Nutrilita
BIOSPOR 2802	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	Allemagne	Farbwerke Hoechst
BITOXI BACILLIN	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	Russie	All Union Inst. Plant Protect.
BIP	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>alesti</u> & <u>Kurstaki</u>	III	Russie	Glawmikrobiopron
DENDROBACILLIN	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>dendrolimus</u>	IV	Russie	Glawmikrobiopron
DIPEL 36B	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>Kurstaki</u> H.D.I.	IIIa,b,	USA	Abbot Lab.
EKSOTOXIN	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	Russie	Glawmikrobiopron
ENTOBACTERIN -3	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>galleriae</u>			
E-61	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	France	Inst. Pasteur (étalon)
HPC	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>Th. Berliner</u>	I		
HD - 187	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>galleriae</u>	V		
INSEKTINA	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	Russie	Glawmikrobiopron
MICROTROL *	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	USA	
PARASPORIN *	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	USA	Grain processing
SPOREINA *	<u>Bacillus thuringiensis</u> v. <u>thuringiensis</u>	I	France	L.I.B.E.C.
THURICIDE-90T	<u>Bacillus thuringiensis</u> var. <u>galleriae</u>	V	Suisse- USA	Sandoz W & IMC
THURICIDE -90TS *	<u>Bacillus thuringiensis</u> var. <u>galleriae</u>	V	Suisse- USA	Sandoz W & IMC
THURICIDE HP	<u>Bacillus thuringiensis</u> var. <u>alesti</u> , <u>Kurstaki</u>	IIIa,b,	Suisse- USA	Sandoz W & IMC
THURICIDE 150 M	<u>Bacillus thuringiensis</u> var. <u>thuringiensis</u>	I	Suisse- USA	Sandoz W & IMC
THURINGIN	<u>Bacillus thuringiensis</u> vars. <u>galleriae</u> , <u>morrisoni</u> , <u>aisawai</u> , <u>alesti</u> , <u>entomocidus</u> , <u>suotoxicus</u> , <u>sotto</u> , <u>dendrolimus</u> , <u>kenya</u>	V,VIII, VII,IIIa, VI,IV,a, b,c.	Roumanie	
TOXOBACTERINA	<u>Bacillus thuringiensis</u>	I.	Russie	Glawmikrobiopron

C - LA COMPOSITION ET LE MODE D'ACTION DU BACILLUS THURINGIENSIS

Le rôle fondamental des toxines dans l'efficacité du Bacillus thuringiensis a été maintes fois démontré chez des espèces de Lépidoptères dans plusieurs pays du monde (88) (150) (153) (207) (248) (107) (131) (145) (185) (262).

A ce sujet, la recherche a parfois donné des résultats très controversés, c'est ainsi par exemple que le rôle "passif" des spores (252) mis en évidence sur Ch. fumiferana au Canada (88) ne coïncide pas du tout avec les résultats particuliers obtenus par SMIRNOFF en 1979 (262), ce dernier ayant comparé des souches sans cristaux, non sporogènes et des souches irradiées du Bacillus thuringiensis. BURGESS (45) signale chez G. Mellonella que cette espèce exigerait la présence des spores pour que le déclenchement de la maladie ait lieu.

Le travail de HEIMPEL et ANGUS 1959 (112 bis, cité par De BACH (15)), permet d'élucider le rôle des spores, d'après quatre types d'action de la bactérie. Le type I déclenche dans un délai très bref une paralysie (5 à 20 min.) de l'intestin moyen des chenilles ayant consommé le Bacillus sporulé. Une à 7 heures après, la paralysie de la chenille sera totale et l'on assiste à une augmentation du pH de l'hémolymphe de 1,0 à 1,5 unités. Ce mode d'action a été observé chez B. mori, P. sexta, Antheraea sp. Les insectes qui montrent une réaction du type II (Malacosoma sp., Anisota sp., Nymphalis sp.) n'ont pas d'augmentation du pH hémolympatique mais il y a paralysie de l'intestin moyen et la mort apparaît dans les deux jours qui suivent mais sans une paralysie généralisée des chenilles. L'exemple classique du type d'action III se trouve chez Anagasta kuehniella Z. dont les chenilles vont mourir 2 à 4 jours après l'ingestion du Bacillus thuringiensis sans aucun symptôme de paralysie mais en plus, la présence de spores est indispensable pour que l'action des cristaux soit létale. Ce qui n'est pas nécessaire chez les types I et II (15). C'est dernièrement que l'on a établi un type IV auquel appartient

le cas de Mamestra brassicae dont les réponses au Bacillus thuringiensis sont si faibles que l'on parle parfois de manière incorrecte, de "résistance naturelle".

On ne peut pas parler de manière générale du rôle passif des spores, étant donné que la production de toxine dépend et est en rapport direct avec la quantité des spores (79), comme l'a montré PANA B. en 1970 (205). Ce même auteur trouve cependant que ces variétés bonnes productrices de spores sont parfois les plus sensibles à l'action des bactériophages, comme c'est le cas pour Bacillus thuringiensis var thuringiensis Berliner et Bacillus thuringiensis var entomocidus.

La recherche de souches plus prolifiques en ce qui concerne le nombre de spores et la quantité de toxine produite, a permis de trouver des effets différentiels selon le type de souche utilisée chez Hyphantria cunea, Mamestra brassicae, Pieris brassicae (159) (82) et Leptinotarsa decemlineata. C'est ainsi que la mortalité causée par la toxine a été la plus élevée chez la variété thuringiensis, suivie en ordre décroissant par vr. galleriae, morinzoni, aizwai, alesti, entomocidus et subtoxicus (205). Aucun effet n'a été décelé sur ces espèces par utilisation des variétés sotto, dendrolimus, kenyae et cereus, cela étant dû certainement au manque de la toxine produite par ces dernières. Ceci coïncide parfaitement avec les résultats de FAST (88).

TANAKA (291) a aussi montré l'influence nocive que l'exotoxine avait sur la synthèse du RNA "in vitro", effet qui, sur des larves de Bombyx mori L. n'a pas été réversible même lorsqu'on ajoutait du DNA. D'autre part, la diminution de la phénoloxidase du tégument larvaire a été observée et c'est le facteur F-1, déjà mentionné précédemment, qui a été mis en cause dans ce phénomène.

En ce qui concerne le mode d'action du Bacillus thuringiensis, KOROSTEL a étudié (151) l'effet de la toxine du Bacillus thuringiensis var thuringiensis sur le DNA des tissus larvaires.

Les doses subléthales causent en effet, une diminution brusque de DNA, diminution qui continuerait à se manifester même à la génération suivante de l'insecte hôte ; par contre, l'endotoxine en provenance de Bacillus thuringiensis var galleriae n'a aucun effet sur le DNA chez Carpocapsa pomonella (150). Ici c'est un phénomène très évident de sélectivité dont les mécanismes ne sont pas encore bien élucidés.

Le processus d'inhibition du RNA par la toxine thermostable reste encore à découvrir (17). L'utilisation pratique des toxines n'a pas diminué pour cette raison. DULMAGE (80) a utilisé avec succès un mélange de delta endotoxines (δ -En.T.) plus des spores contre Heliothis spp. et ces résultats encouragent l'industrie dans la recherche de souches productrices de tels enzymes.

En ce qui concerne l'explication des effets de paralysie dus à l'endotoxine (En.T), NARAYAN (195) a mis en évidence sur les larves L_3 de Papilio demoleus L. le rôle que joue l'En.T au niveau des ions K^+ Na^+ et Mg^+ , qui augmentent alors que le Ca^{++} et le pH de l'hémolymphe diminuent fortement. Ce déséquilibre cationique expliquerait très bien cet effet de paralysie qui affecte les chenilles de Lépidoptères sensibles à l'action du Bacillus thuringiensis , 4 à 5 heures après la consommation de la nourriture infectée. HARVEY (107) a observé un phénomène pareil sur M. sexta "in vitro". Le transport du K^+ vers le torrent hémolympatique ne paraît pas réversible. On peut ajouter le travail de JAFRI (129) sur G. mellonella afin de déterminer et d'expliquer le processus infectieux à l'aide du Co^{60} , mais il reste cependant à découvrir l'explication et la mesure de la diffusion de la toxine dans le processus d'envahissement du système digestif des larves.

Des travaux en cours sur le rôle des enzymes (308) vont contribuer à élucider le problème. Le travail de condensation de la littérature concernant les différentes toxines du Bacillus thuringiensis par LUTHY 1981 (169) est particulièrement intéressant à ce sujet, notamment en ce qui concerne la delta-endoxine,

la beta-exotoxine, l'alfa-exotoxine et les exo-enzymes (aussi appelées toxines) du Bacillus thuringiensis.

ISAKOVA et MOGILEVSKAYA 1975 (126) étudiant les facteurs qui peuvent favoriser l'action de Bacillus thuringiensis ont trouvé un rapport entre le manque de sensibilité de certaines noctuelles et la richesse de la flore intestinale. Utilisant Bacillus thuringiensis var galleriae, ils ont trouvé que Pieris brassicae était plus sensible que Mamestra brassicae et Autographa gamma, alors que la flore intestinale avait la même composition pour ces espèces de Lépidoptères (Pseudomonas aeruginosa, Streptococcus fecalis et les genres Rinococcus et Sarcina spp.); on a constaté en effet, chez les chenilles moins susceptibles au Bacillus thuringiensis, des densités moins élevées de la microflore digestive. Ces facteurs "richesse de la flore" et "densité de la flore" pourraient être aussi une explication complémentaire au processus de lyse des spores, phénomène qui reste à être bien expliqué même si les conditions intestinales qui concernent l'étude du pH du système digestif des chenilles ont été élucidées (131) (308).

Sur Galleria mellonella, JAROSZ J., 1979 (131) a mis en évidence l'action bactéricide de la flore bactérienne de l'hôte sur d'autres bactéries étrangères. C'est ainsi que même en consommant des doses très élevées de Pseudomonas aeruginosa, Proteus mirabilis, ou Bacillus thuringiensis, l'insecte peut survivre. Le facteur en cause serait la bactériocine, sorte d'antibiotique à spectre d'action très court. Ce fait nous permet de croire aussi à la possibilité de l'auto-contrôle des souches de Bacillus thuringiensis si de telles substances sont produites par le bacille. Voici encore une explication possible des résultats variables sur des hôtes identiques et encore une autre possibilité d'explication de la faible sensibilité des noctuelles dont la flore intestinale est souvent très riche.

En contre partie, la présence d'un facteur phagocitaire chez G. Mellonella mis en évidence par MOHRIG 1979, pourrait aussi jeter un peu de lumière sur les mécanismes de "résistance" de certains Lépidoptères à l'action du Bacillus thuringiensis (186) (187).

D'autre part et toujours sur l'action du Bacillus thuringiensis, la consommation d'oxygène constitue un très bon indice de l'efficacité du Bacillus ; c'est ainsi que chez Earias Vitella F. (fabia stoll.) , la consommation d'oxygène a augmenté de 37 % à 113 % entre la 5ème et la 7ème heure après l'infection par Bacillus thuringiensis ; la quantité d'acides aminés libres de l'hémolymphe est également augmentée (260).

D - ECOLOGIE DU BACILLUS THURINGIENSIS ET UTILISATION DU PRODUIT FORMULE

Le rôle du milieu ambiant sur l'efficacité du Bacillus thuringiensis et sa vitesse d'action ont été étudiés à plusieurs reprises. SMIRNOFF (256) suggère l'utilisation du Bacillus thuringiensis au cours des journées ensoleillées puisque l'augmentation de la température rend plus sensibles les espèces par accélération du métabolisme des insectes et de la bactérie elle-même. Ceci a été démontré sur Lambdina fiscellaria fiscellaria (G) dont les chenilles de 2ème et de 5ème stade se sont avérées plus résistantes au Bacillus thuringiensis dans des conditions de basses températures.

L'écologie du Bacillus thuringiensis est aussi un des sujets à exploiter. La façon dont le bacille reste dans la nature et réapparaît lors des épizooties doit être étudiée dans le but d'une sauvegarde des écosystèmes qui subissent des traitements au Bacillus thuringiensis (Le tableau II-2 nous montre les formulations d'usage entre 1970 et 1980).

Des approches sur l'écologie de Bacillus thuringiensis dans des produits ou des denrées alimentaires ont été menées en Angleterre (44 bis) par BURGESS 1977 .

L'étude de la persistance et de la disparition graduelle du Bacillus thuringiensis dans le sol par PRUETT 1980 (223) est aussi une approche intéressante. Les spores ont montré dans ces recherches une diminution de 76 % après 135 jours, tandis que les cristaux ont été réduits à moins de 1 % des concentrations mises dans le sol.

Des techniques pour isoler spores et cristaux à partir d'échantillons du sol vont certainement être mises au point pour alléger la difficulté majeure de ce genre d'études.

Si le réservoir du Bacillus thuringiensis dans le sol ne constitue par un facteur de lutte directe contre les insectes nuisibles, il représente par contre la plus grande potentialité dans la recherche de nouvelles souches. A cet effet, nous pouvons citer l'exemple des variétés israeliensis, dakota et indiana (161).

D'après la littérature consultée, la tendance à l'utilisation combinée du Bacillus thuringiensis avec des pesticides de tous types, biologiques ou chimiques, semble se dessiner (10) (72) (68) (93) (94) (163) (167) (168) (213) (279) (290).

C'est à la suite des travaux de BENZ (44) et d'autres, que toute une série de recherches ont commencé tant en Europe qu'aux Etats-Unis. Cette alternative d'amélioration dans l'efficacité du produit qui n'est pas négligeable, est cependant une arme à double tranchant parce que, si son succès commercial direct peut être parfois étonnant, il suffirait d'une application ratée du produit (par des raisons non concernant le Bacillus thuringiensis) pour que le produit soit discrédité et vite abandonné par les cultivateurs. Ce risque de la perte de réputation du Bacillus thuringiensis est d'autant plus grand que la méconnaissance des

mécanismes du synergisme sont encore une barrière à surmonter (82).

Les travaux de MORRIS (192) (193) (194) , SMIRNOFF (259) (260) (258) et LEBRUN (158) entre autres, sont néanmoins la preuve des possibilités d'un synergisme possible. De nombreux chercheurs ont reproduit des résultats intéressants et une sélection de ceux-ci a été rassemblée au Tableau II-3 (10) (168) (212) (214) (290).

Déjà en 1970, IGNOFFO (123) cité par l'auteur (82), remarquait que le Bacillus thuringiensis ainsi que certains virus entomopathogènes avaient été développés par l'industrie pour être utilisés comme des produits chimiques quelconques et nullement comme des organismes vivants, au moins en ce qui concerne leur utilisation et leur application en champ (241 bis) ; ce qui est remarquable sur le plan facilité d'usage est par contre critiquable en raison de vouloir donner au Bacillus thurigiensis l'image d'une molécule chimique dont l'utilisateur attendra un comportement semblable aux chimiques (212) (163).

Il est facile de montrer la différence entre plusieurs traitements, mais très difficile de faire comprendre aux consommateurs les raisons pour lesquelles Bacillus thurigiensis n'est pas si rapide dans son action de "Knock down" que le DDT ou le parathion par exemple (212) (228).

Les études d'amélioration de l'efficacité du Bacillus thuringiensis par synergisme s'avèrent cependant promissaires. Les mécanismes qui expliquent le synergisme n'ont pas encore été établis, ce qui pourra être plus facile une fois que le(s) mécanisme(s) d'action du Bacillus thuringiensis lui-même soient bien connus.

La variabilité des résultats dans l'efficacité du Bacillus thuringiensis et même les contradictions observées entre différentes publications (44) (56) (59) (214) (191) sont expliquées par le nombre élevé de variables entre les différentes expériences.

TABLEAU II-3 - Résultats de compatibilité du Bacillus thuringiensis avec différents produits chimiques ou microorganismes utilisés fréquemment dans la lutte contre les insectes

22.

PRODUIT ACTIF OU NOM COMMERC.	FORMULATION	GROUPE	S	C	I	A	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
Carbaryl 80%	PM	Carbamate		XXX		XX	(191)(56)
Tetrachlorvinphos 25%	PM	Chloré		XX	X	XX	(56)(59)
Acephate 75%	PM	Org. Phosph.		XXX			(191)
Alarline 25%	PM	Chloré		X			(44)(104)
Heptachlore techn.	CE	Chloré		X			(44)
DDT (Zeldane)	PM	Chloré	X	X			(44)(158)
DDT + M. parathion	CE	Chl. +Phos.		X			(192)
Metomyl. 25%	PM	Carbamate		X			(192)(56)
Selecron	CE	D. Phosph.		X			(5)(278)
Difluobenzuron	PM	Fluoré		XX			(191)
Endosulfan	PM	O. Halogéné		X			(191)
Endosulfan	CE	O. Halogéné		X			(10)
Diazinon 10%	PM	O. Phosph.			X		(104)(192)
Phorate 5%	G	O. Phosph.			X		(192)(5)
Lindane 80%	PM	O. Halogéné			X		(191)
Dieldrine	CE	O. Halogéné			X		(104)(191)
Carbofuran 5%	M. Gr.	Carbamate	X				(56)(191)
DDVP LP 150	LP	O. Halogéné			X		(191)
Propoxur (Baygon)	CE	Carbamate	X	X	XX		(191)
Pyrethrines (Ambusch)	CE	Pyréthroïde	X	XX	X		(290)(152)(191)(290)
Phosphamidon	CE	O. Phosph.			X		(192)
Phosmet (imidon 50 %)	PM	O. Phosph.	X		X		(192)(104)
Sevin 80%	PM	Carbamate		X			(290)
Methomyl. 25%	PM	Carbamate	X				(44)(214)
Malathion	CE	O. Phosph.	X			X	
Trichlorfon 80%	PM	O. Phosph.	X		X		(132)
Chlordimefon	PM	O. Chloré		XX			(10)(47)(72)(213)
Trycliclonexiltin hydroxide	CE	O. Chloré		X			(10)
Penicilline	PM	(Antibiotique)				X	
Virus polyedrosis H.v.	PM *	(Virus)	X				(132)(140)(268)
BHC	A					X	
Chitinase		(Enzyme)	XXX				(193)(257)(258)(259)
Span 80	CE				X		(256)
Bio-film	CE	(Solvant)					(267)
Triton-81956	CE	(Adhésif)	XX				(198)(256)(241 bis)
(<u>Beauveria</u> sp.)	-*	(Champignon)	X				(3)
Virusine(<u>Mamestra brassicae</u>)	CE*	Virus P.N.		X			(38)
<u>Vairimorpha necatrix</u>	*	Microsporiidae	X				(194)
Virus P.N. (<u>S. Littura</u>)	CE *	Virus P.N.	X				(147)
<u>Nosema pyrausta</u>	*	Protozoo.		X			(167)
Emulsifiant et ingrédients inerts		Solvants et émulsifiants		X			(26)(241 bis)
Bactojardin	CE *	<u>Bacillus thu-</u> <u>ringiensis</u> + Pyréthroïdes	X				(14)

S : Synergisme évident
C : Compatibles
I : Non compatibles
A : Antagonistique.
PM : Poudre mouillable

CE : Concentré émulsifiable
G : Granules
MG : Micro Granules
LP : Liquide pour pulvérisation
A : Aérosol

* : Microorganismes

Ces variables sont souvent : variation des souches du Bacillus thuringiensis, conditions des tests non standardisées, les concentrations différentes utilisées, la variabilité du titre des produits, la réponse variable d'une espèce cible face à une ou à plusieurs souches, l'âge de l'insecte-cible, son comportement. Bref, il n'y a pas de technique standardisée au niveau mondial, de façon à pouvoir profiter des résultats que la littérature scientifique nous fournit.

On pourrait dire la même chose en ce qui concerne les études sur l'inocuité du Bacillus thuringiensis pour les organismes utiles (47) (94) (128) (204) (228) (150) (151).

L'utilisation combinée de Bacillus thuringiensis avec d'autres entomopathogènes semble très prometteur. En effet, aucun cas d'incompatibilité ou d'antagonisme n'a été répertorié (voir Tableau II-3) (3) (38) (94) (147) (167), mais en plus, à plusieurs reprises, on préconise la bonté des mélanges au Bacillus thuringiensis (190) (3). Cette tendance se verra accrue d'autant plus que les prix des insecticides à action rapide et à large spectre vont nécessairement augmenter de prix METCALF 80. (187 bis). De cette façon, on devra faire appel à des produits dont le pétrole n'est pas à la base de leur formulation (virus, rickettsies, protozoaires, champignons, etc...) Peut-être que de la sorte, les études sur l'action des chitinases et d'autres enzymes (169) dérivées du Bacillus thuringiensis auront une forte reprise dans les marchés (193) (206) (258) (259) (260).

Les études concernant l'inocuité du Bacillus thuringiensis pour les organismes utiles sont très nombreux (150) (151) (103) (121) (139) (150) (141) (137) (326) (291) (128) (47) (204) (228) (94) (151). Ici, il est utile de rappeler que le manque de méthodologies homogènes pour tester le Bacillus thuringiensis se fait évident par les contradictions des publications dont nous avons préparé le Tableau II-4 qui reprend les cas les plus intéressants de la littérature consultée entre 1980 et 1970.

TABLEAU II-4 - Résultats de l'utilisation du Bacillus thuringiensis B. sur des populations d'insectes bénéfiques traités directement (P : parasite ; Pr : Prédateurs) ou indirectement (H : hôte)

24.

NOM SCIENTIFIQUE	TRAITEMENT SUR			TYPE D'EFFET DETECTE :*				REFERENCE
	P	Pr	H	A	F	D	L	
<u>Apanteles fumiferanae</u> V.			X		X		X	(103)(139)
<u>Glyppta fumiferanae</u> (Vier)			X		X			(103)
<u>Phaeogenes haviolus</u> (Cr.)			X				X	(103)(121)
<u>Cermoasia auricaudata</u> T.			X				X	(103)(121)
<u>Madremya saundersii</u> (Will)	X						X	(103)(121)
<u>Trichogramma evanescens</u> . West	X					X		(121)
<u>Apanteles tibialis</u> (Curt.)	X		X	X				(121)
<u>Ageniaspis fuscicollis</u> Dalm.	X			X				(150)
<u>Ageniaspis</u> spp.			X	X				(150)
<u>Tenodera sinensis</u> Sauss.		X	X	X				(326)
<u>Trichogramma cacoecia</u>			X	X			X	(137)(38)(150)(141)
<u>T. pallidum</u> Meier (v. Os.)			X	X			X	(141)(150)
<u>T. embryophagum</u> (Htg.)			X	X			X	(141)(150)
<u>Trichogramma</u> spp.			XX				X	(138)(150)(141)(47)
<u>Trichogramma punctulatus</u>			X				X	(141)
<u>Liotriphon punctulatus</u>			X	X				(141)
<u>Microdus rufipes</u>			X	X				(141)
<u>Sphaerophoria scripta</u> L.			X	X				(141)
<u>Coccinella septempunctata</u>	X			X			X	(141)(326)
<u>Aphis mellifera</u> L.				X				(141)
<u>Bombyx mori</u> L.						X	XX	(291)(128)(204)
<u>Campoletis sonorensis</u>		X		X				(94)
<u>Cardiochiles nigriceps</u>		X		X				(94)
<u>Brachymeria intermedia</u>		X						(94)
<u>Apanteles melanoscelus</u>		X				X		(228)
<u>Parasetigena silvestiis</u>		X				X		(228)
<u>Compsilura concinnata</u>		X				X		(228)

* A : Aucun effet
F : Effet favorable

D : Effet défavorable
L : Effet létale

Signalons brièvement que les cas où les traitements au Bacillus thuringiensis apparaissent comme étant nuisibles aux insectes utiles, font souvent référence à une réduction de la densité des parasites ou des prédateurs comme conséquence de la réduction de la population de l'insecte-hôte (103) (94) (228) ; problème qui ne devrait plus se poser dans le cas d'utilisation du Bacillus thuringiensis dans des programmes de lutte intégrée où le relâchement sur le terrain de populations élevées en laboratoire est d'usage courant. Aucun cas où le Bacillus thuringiensis soit apparu comme pathogène direct d'un insecte utile n'a été signalé; sauf peut-être dans le cas de l'ingestion forcée du Bacillus thuringiensis par Bombyx mori ou certains coccinellidae en laboratoire (291) (128) (204).

Il est parfois étonnant de constater la faible quantité de travaux que la littérature scientifique consacre aux méthodes d'utilisation du Bacillus thuringiensis en champ. Les formulations commerciales ont toujours été réalisées pour répondre aux besoins des appareillages mis au point pour les insecticides chimiques, ce qui colle bien aux besoins des utilisateurs, mais peut-être en sacrifiant la potentialité du Bacillus (10) (66) (72) (184) (214) (185) (186) (187).

Signalons aussi que les adaptations que l'on a faites de la bactérie aux modalités de formulations est très remarquable (170) (279). Des poudres mouillables, des granules, des crèmes et même des préparations à utiliser en "ultra low volume" ont été mises au point (17).

La seule formulation qui n'ait pas été produite est celle à action systémique ; si la nature même du Bacillus thuringiensis ne nous permet pas d'y penser, la mise en évidence de ses endo et exotoxines, que l'on pourrait synthétiser et reformuler, laissent toujours des possibilités ouvertes dans la voie des formulations nouvelles. Si ceci n'est peut-être qu'une faible hypothèse aujourd'hui, le développement de la "bioingenierie" aura un terrain immense pour exploiter dans ce domaine, mais surtout sur celui de la spécificité du Bacillus thuringiensis (164) (73).

Un Bacillus thuringiensis fait "sur mesures" doit apparaître dans un avenir peu lointain.

MAC NEIL (190) est arrivé à l'utilisation de Bacillus thuringiensis avec des concentrations aussi basses que 2 gal/acre, contre T. lineola. FRYE (92) est arrivé à obtenir de très bons résultats reproductibles avec des nébulisateurs ou "cold foggers" et pulvérisateurs hydrauliques dans la lutte contre Paleacrita vernata (PECK) et Alsophila pometaria (HARRIS). KISELEK (42), SMITH (267) ont étudié la persistance d'action et la quantité de produit qui tombe sur le feuillage après utilisation de différents types de pulvérisateurs. On a ainsi montré une persistance de 30 jours au moins pour le Bacillus thuringiensis sur des conifères et 32 jours sur Quercus robur dans la lutte contre E. chrysorrhoea (62). L'influence de la pluie sur la diminution de densité de la bactérie dans le feuillage a été étudiée par RUELLE, NEF et LEBRUN en 1976 (236).

SMITH (267) a comparé les différences d'efficacité entre les différentes équipes qui réalisent l'application des pesticides sur le soja. Le facteur le plus gênant pour la bonne dispersion du pesticide est la pression excessive. Le Bacillus thuringiensis doit être nécessairement soumis aux mêmes problèmes que d'autres pesticides, si nous considérons l'évaporation du produit par un excès de pression ou par un diamètre trop réduit des gouttelettes du jet d'aspersion. Le vent, ou le soleil et la température pourront occasionner des pertes assez importantes du produit.

Déjà en 1976, on trouvait sur le marché français, une formulation du type "crème" que l'on pourrait mieux appeler concentré émulsifiable ; il est même utilisable pour des aspersion à (ultra low volume) , volume ultra bas .

Si les poudres mouillables constituent aujourd'hui les formulations les plus courantes et les plus commercialisables (Voir Tableaux II-2, II-3), il faut remarquer l'intérêt que les marchés de l'Amérique Centrale et des pays des Caraïbes portent à la formulation crème. La plus grande difficulté dans sa commer-

cialisation réside dans le gros volume que son transport exige vu le manque d'usines de formulation du Bacillus thuringiensis en Amérique Latine - LAVERDE A. (1980) (Com. personnel).

Les formulations granulées ont été produites pour la première fois en 1968 et essayées avec succès sur la pyrale du maïs P. nubilalis (268) cité par CHARMOILLE dans BAILLY, 1977 (17).

En général, les résultats des rapports scientifiques sur l'efficacité comparée du Bacillus thuringiensis et des produits chimiques ou du Bacillus thuringiensis seul, sont peu encourageants. Les cas de "supériorité" du Bacillus thuringiensis sur les produits chimiques ne sont pas nombreux, ou du moins, ils ne sont pas présentés sans partialité. Mais cela peut facilement être expliqué par diverses raisons qu'il importe encore une fois de rappeler ici (82):

On s'est habitué à voir le Bacillus thuringiensis comme étant un produit chimique et par conséquent, les critères pour le juger sont les mêmes que ceux utilisés pour les insecticides chimiques. Cependant, rien n'est plus erroné.

En premier lieu, l'étude du "comportement" et de l'écologie de la bactérie est à peine à ses débuts (44 bis) et les premières observations nous confirment des différences remarquables avec les produits chimiques rien qu'à ce niveau comportemental du bacille.

En deuxième lieu, la mesure de l'efficacité du Bacillus thuringiensis ne doit être faite en termes de mortalité immédiate ou de "Knock down" sur la population cible, ni même pas en termes de mortalité des individus, mais en termes de sauvegarde de l'équilibre naturel dans des écosystèmes particuliers, tels les agro-écosystèmes.

On pourrait aussi tenir compte de la capacité du produit pour s'incorporer dans les chaînes trophiques sans altérer les rapports établis entre leurs maillons.

Il est important de souligner le rapport étroit entre la souche du Bacillus thuringiensis et la souche de l'insecte-cible. Ce n'est pas par hasard que Choristoneura fumiferana est très sensible au Bacillus thuringiensis en laboratoire mais très difficile à contrôler au champ. On peut aussi rappeler le cas de Mamestra brassicae dont le comportement des chenilles et des imagos pourrait être à la base des réponses de faible susceptibilité de l'espèce au Bacillus thuringiensis (82) (84) (85). Une molécule de DDT reste toujours la même molécule. Bacillus thuringiensis est une entité organique et vivante dont la richesse et la mise en valeur de sa variabilité génétique n'ont pas encore été approfondis.

Nous ne pouvons donc comparer sans peine, l'efficacité des chimiques et de Bacillus thuringiensis lors d'un contrôle d'un même insecte-cible. Les entités ne sont pas comparables, même si les uns et l'autre aboutissent aux mêmes fins, la mort de la cible; les mécanismes suivis pour atteindre cette fin sont très différents et l'impact sur l'ensemble des écosystèmes est tout à fait distinct. Ceci peut partiellement expliquer les résultats rencontrés de la littérature sur le sujet de l'efficacité du Bacillus thuringiensis (123) (5) (12) (206) (267).

Le Tableau II-5 constitue une présentation de quelques résultats controversés qu'on vient de mentionner et un résumé des recherches poursuivies entre 1970 et 1980.

TABEAU II-5 - Résultats du contrôle (B: bon ou M: mauvais) de ravageurs ou de vecteurs de maladie à l'aide de *Bacillus thuringiensis* B. (1970-1980)

Espèces	B	M	Année	Pays ou référence
<i>Lymantria dispar</i> L.	X	X	1973	Tchécoslovaquie (67)(191)
<i>Yponomeuta padellus malinellus</i> Z.	X		1973	Tchécoslovaquie (300)
<i>Malacosoma neustria</i> L.	X		1973	(300)
<i>Eriogaster lanestris</i> L.	X		1973	(300)
<i>Ooecoptera fagata</i>	X		1973	(300)
<i>Archips rosanus</i>	XX		1973	USA (4)
<i>amestra brassicae</i>	X	XXX	1977	URSS-Belgique (12)(38)(159)
<i>Herpetogramma</i> spp.	X		1977	URSS-USA
<i>Crambus</i> spp.	XXX		1977	URSS (230)
<i>Pieris brassicae</i>	XXXX		72-77	URSS, Chili(10)(38) Fr (205)(59)
<i>Autographa gamma</i>		X	79-77	URSS (212)
<i>Cydia pomonella</i>	X		73-75	URSS (38) Bulgarie (89)(138)
<i>Dendrolimus spectabilis</i> (Bth)	X		1976	Japon (140)
<i>Palaearctia vernata</i> (Pack)	X		1976	USA
<i>Alsophila ometaria</i>	X		1976	USA (92)
<i>Athalia rosae</i>		X	1971	USA
<i>Lymantria monacha</i>	X		1971	Suède (54)
<i>Spodoptera littoralis</i>	XX		1973	Egypte (87)(5)(6)
<i>Lambdina fiscellaria</i> f.	X		1973	Egypte-Canada (260)
<i>Earias vitella</i>	X		1972	Egypte
<i>Anomis</i> spp.				
<i>Heliothis</i> spp.	XXX	X	71-74	USA (20)(47)(80)(66)(94)(212)(213)
<i>Trichoplusia ni</i>	X	XX	71-70	USA (304)(67)(278) 80
<i>Alabama argillacea</i>			1971	USA
<i>Choristoneura fumiferana</i>	XX		76-77	Canada-USA (88)(194)(259)(25)
<i>Choristoneura occidentalis</i>	X		1977	(25)
<i>Thymelicus lineola</i>	XX		77-79	Canada (163)(190)
<i>Plodia interpunctella</i>	XXX		1976	Canada (50)(178)
<i>Cadra cautella</i>	X		1976	Canada (178)
<i>Sitotroga cerealella</i> Z.	X		1976	Canada (178)
<i>Dyanotus teniculioides</i>	X		1977	Canada
<i>amestra configurata</i>	X	X	1977	Canada
<i>Mythimna separata</i>		X	1974	Australie (118)
<i>M. convecta</i>		X	1974	Australie
<i>M. loreymina</i>		X	1974	Australie
<i>Cydia pomonella</i>	X		1972	Bulgarie-Suède (151)(138)
<i>Plutella xylostella</i>	XX		1972	Philippines (320)(51)(135)
<i>Mythimna paea</i>	X		1972	Afrique du Sud (53)
<i>M. polyraleda</i>	X		1972	(53)
<i>Simplicia extinetalis</i> Z.	X		1972	(53)
<i>Elyda</i> sp.	X		1972	(53)
<i>Sibine apicalis</i>	X		1974	Costa Rica (130)
<i>Monomorium pharaonis</i> L.		X	1974	Allemagne (36)
<i>Euprectis chrysorrhoea</i>	XX		1971	Belgique (1)
<i>Hypantiria cunea</i> Dr.	X		71-76	URSS (208)(254)
<i>Cydia funebrana</i>		X	1975	URSS
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	X	X	1972	URSS-France
<i>Tetranychus urticae</i> KOCH	X		1978	Belgique (308)
<i>Oryctes rhinoceros</i>		X	1974	France (121)
<i>Lycia hirtaria</i> (Biston hirtaria)	X		1980	Bulgarie (72)
<i>Plathypena scabra</i>	X		1979	USA (94)
<i>Manduca sexta</i>	X		79-80	USA (94)
<i>Agrotis ipsilon</i>	X		79-80	USA (125)(184)
<i>Agrotis segetum</i>	X		1975	URSS (139)
<i>Heterotermes indicola</i>	X		1977	Pakistan (144)(139)
<i>Microcerotermes championis</i>	X		1977	Pakistan (144)
<i>Ephestia cautella</i>	X		1979	USA (24)(145)
<i>Spodoptera littura</i>	X	XX	1978	Thaïlande (12)(147)(167)(168)
<i>Ostrinia (Pyrausta) nubilalis</i>	XXX		79-80	USA
<i>O. nubilalis</i>	X		79-80	Java
<i>Musca domestica</i>	X		1980	USA (184)
<i>Haemaphysalis pseudoscutellata</i>	XX		1979	Can. USA (191)(198)
<i>Autographa gamma</i>		X	1979	USA (212)
<i>Galleria mellonella</i>	X		1980	U.K. (185)
<i>Ooecoptera brumata</i>	X		1980	Tchécoslovaquie (290)
<i>Tortrix viridiana</i>	X		1980	Tchécoslovaquie (290)
<i>Blattella germanica</i>	X		79-80	Pologne (247)(299)
<i>Tenebrio molitor</i>	X		1976	Belgique (158)
<i>Papilio demoleus</i>	X		1974	Inde (195)
<i>Sylepta derogata</i>	X		1974	Nigéria (292)
<i>Anomis leana</i>	X		1974	(292)
<i>Heliothis armigera</i>	X		1974	(292)
<i>Earias biplaga</i>	X		1974	(292)
<i>Prays oleae</i>	X		1976	Grèce (323)

E - ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA COMMERCIALISATION ET DE L'ADOPTION DU BACILLUS THURINGIENSIS DANS L'USAGE COURANT EN MILIEUX AGRICOLES

L'augmentation de la demande du Bacillus thuringiensis dans ses diverses formulations, surtout au cours de cette décennie 70-80 est incontestable. Le nombre croissant de publications scientifiques sur Bacillus thuringiensis, la grande variété des sources d'information qui en parlent, et le nombre d'insectes ravageurs visés dans les recherches et des formulations disponibles au marché en sont la preuve (Tableau II-5).

En chiffres absolus, ce sont les Etats-Unis qui sont les plus grands consommateurs, suivis de l'Union Soviétique et de l'Amérique Latine. L'Australie et le Nord de l'Afrique ont une faible mais croissante consommation (Maroc, Algérie, Soudan, Egypte). Ces cinq dernières années, les marchés du Moyen Orient et du Sud Asiatique ont aussi montré un intérêt au Bacillus thuringiensis. Même les pays producteurs de soie qui ont des restrictions assez dures afin de protéger l'élevage du B. mori envisagent l'utilisation du Bacillus thuringiensis.

Pour l'Amérique Latine, une augmentation des demandes de Bacillus thuringiensis est à prévoir non seulement du fait de la croissance des surfaces de culture (Brésil, Bolivie, Colombie, Vénézuëla) ou du pouvoir d'achat grandissant de certains secteurs agricoles (cultures d'exportation notamment), mais en raison de l'augmentation des niveaux habituels des populations de ravageurs défoliatrices dans les régions intertropicales de la planète.

Aux Etats-Unis, ce sont les producteurs du tabac et des cultures maraîchères et alfalfa qui sont les principaux intéressés par le Bacillus thuringiensis. En Amérique Latine, ce sont les cultures de coton, de soja, de café, de canne à sucre qui sont les seules en mesure de pouvoir rentabiliser les coûts élevés du Bacillus thuringiensis. D'autre part, les cultures comme le cotonnier utilisent une main-d'oeuvre bon marché, ce qui leur a

permis d'augmenter les dépenses en lutte contre les ravageurs. Il faut cependant tenir compte de certaines fluctuations inattendues du marché du Bacillus thuringiensis dans ces pays, du fait des variations aussi inattendues des niveaux de ravageurs et cela, en raison de la méconnaissance des écosystèmes néotropicaux et la dynamique des populations.

Les arguments concernant la protection de l'environnement et au moyen desquels on préconise les avantages du Bacillus thuringiensis ne sont pas efficaces en Amérique Latine ou dans des pays non industrialisés principalement pour des raisons d'ordre socio-politique : le manque de normes de protection de l'environnement ou leur très difficile application dans d'autres pays font partie des difficultés que le Bacillus thuringiensis doit surmonter avant l'adoption définitive de la part de ces marchés. D'autre part, il y a le pouvoir de "Knock down" ou l'action rapide des produits chimiques face à l'action relativement lente du Bacillus thuringiensis. Cependant, un des facteurs qui explique la lenteur avec laquelle en Amérique Latine, les produits chimiques sont remplacés par Bacillus thuringiensis, concerne le nombre relativement très réduit de consommateurs du Bacillus thuringiensis, à grande majorité propriétaires de grandes surfaces de culture. Cela veut dire qu'un pourcentage au moins inférieur à 10 %, de la population totale est propriétaire de 95 % des surfaces de culture. La prise de conscience des désavantages de la lutte exclusivement chimique ne pèse pas aussi lourd que l'intérêt privé des gros propriétaires pour qui la sauvegarde de l'environnement n'est pas considéré comme une bonne affaire. Au niveau des grandes masses de population paysanne, on ne connaît même pas ce que signifie "l'environnement". D'autre part, nous devons nous attendre à une augmentation des demandes du Bacillus thuringiensis surtout à cause de l'augmentation des prix des insecticides chimiques dont leur prix de production devient très élevé, par des raisons telles que l'augmentation du nombre de produits à synthétiser, le "screening" et du nombre d'étapes requises pour la synthèse d'un nouveau produit, ce qui fait que, en plus d'un enchérissement du pétrole à raison de 22 %

par an, le prix de production d'un insecticide chimique est doublé tous les 20 mois , METCALF (1980) - Il est alors beaucoup plus rentable d'utiliser le Bacillus thuringiensis en mélange ou non avec des produits chimiques (38) (47) (10) ou avec d'autres micro-organismes (87) (93) (94).

Le facteur "climat" lors de l'utilisation du Bacillus thuringiensis dans des pays très chauds ne pose pas de problèmes majeurs par rapport à ceux posés par les produits chimiques. Les nouvelles formulations ont résolu des problèmes tels que la "dite" action nuisible des rayons ultraviolets sur le Bacillus thuringiensis dans des régions d'altitude et à haute insolation. L'utilisation de produits adhérents et émulsifiants ont démontré une bonne solution aux problèmes d'utilisation de Bacillus thuringiensis en régions à précipitation élevée (170) (241 bis) (261).

En résumé, les perspectives d'avenir pour Bacillus thuringiensis sont de plus en plus bonnes surtout que les caractéristiques de spécificité du produit déjà intéressantes subiront une révolution avec l'application de techniques nouvelles dans le domaine de la bioingénierie (73) (164) et la génétique.

D'autre part, il reste beaucoup à faire dans le domaine de l'éducation des consommateurs actuels et futurs du Bacillus thuringiensis . Les facteurs socio-économiques des marchés éventuels jouent un rôle très important dans l'utilisation correcte et dans l'adoption du Bacillus thuringiensis dans la lutte contre les insectes nuisibles.

F - CONCLUSION

Le nombre de publications sur Bacillus thuringiensis au cours de ces dernières années et même la dispersion des données sur une gamme très étendue de revues est un bon indice de l'intérêt que cette bactérie a soulevé parmi les personnes concernées par la production agro-alimentaire et la sauvegarde des cultures face aux ravageurs.

Les essais de standardisation dans la taxonomie et la classification du Bacillus thuringiensis font preuve d'une certaine maturité dans la recherche, mais un accord final ne sera pas au point avant que les recherches sur le mode d'action et l'efficacité et composition du Bacillus thuringiensis soient tout à fait élucidées. Un autre indicateur du niveau de maturité dans le processus d'adoption du Bacillus thuringiensis est l'augmentation de recherches sur le plan de l'efficacité du Bacillus thuringiensis en mélange avec des produits chimiques traditionnels et avec d'autres micro-entomopathogènes (13) (94) (147) (163) (168) .

Dans le domaine de la formulation commerciale, le Bacillus thuringiensis est prêt à l'adoption définitive même dans les milieux agricoles les moins innovateurs. Les présentations en poudres, concentrés émulsifiables, granulés, etc... permettront certainement d'accroître sa rapidité d'action et son "efficacité" aux yeux exigeants des cultivateurs.

Les éventuels problèmes sur l'inocuité de nouvelles souches pourront être résolus quand les recherches en cours et en train de démarrer sur un "Bacillus thuringiensis sur mesures" donneront leurs premiers résultats. (73)(164)

Le rôle positif du synergisme sur le plan commercial reste indiscutable et surtout sur la voie de préparation du terrain psychologique ou éducatif des consommateurs traditionnalistes, très attachés aux insecticides chimiques malgré les problèmes que l'abus

de leur utilisation leur posent. Bacillus thuringiensis devient aujourd'hui compétitif dans le prix face aux produits chimiques et cela, malgré l'inexistence des brevets de registre d'exclusivité pour la bactérie, ce qui pourrait permettre, comme pour les produits chimiques, d'amortir les coûts des recherches (187 bis) (169).

Il reste beaucoup à faire dans le domaine de l'écologie du Bacillus thuringiensis (44 bis) (308 bis) . Une meilleure compréhension des rapports et des interactions entre Bacillus thuringiensis, insecte-cible et plante-hôte pourront nous garantir une efficacité du Bacillus thuringiensis et d'autres armes de la lutte intégrée.

III - ASPECTS BIOLOGIQUES DE MAMESTRA BRASSICAE L.

A - INTRODUCTION

La noctuelle du chou, Mamestra brassicae L., constitue aujourd'hui un des exemples classiques de ce que l'on appelle "the Key pest" dans un agro-écosystème. Elle réunit des caractéristiques telles que la fréquence des attaques, niveaux très élevés d'infestation, une grande voracité, un coût de contrôle élevé, etc... On peut aussi retrouver chez elle les mêmes étapes suivies par d'autres ravageurs avant de devenir des espèces d'importance économique, par exemple, un grand potentiel biotique qui lui permet de répondre vite et efficacement aux facteurs répressifs soit du milieu, soit de l'intervention humaine, en s'adaptant (76) (77) ou en développant des phénomènes de résistance (44).

Depuis 1885, NEWMAN, cité par BALACHOWSKY (18) et d'autres comme SPULER 1908, PIERCE 1909, s'occupent de Mamestra brassicae. Les références dans la littérature scientifique d'Europe occidentale et d'Amérique ne dépassaient pas la centaine jusqu'en 1966. Cependant, entre 1970-1980, nous avons dénombré plus de 200 publications qui parlent directement de Mamestra brassicae. Cela, sans compter les nombreuses publications scientifiques soviétiques dont nous disposons de quelques résumés en anglais. Toute cette littérature constitue, sur les plans scientifique et économique, une preuve de l'importance de Mamestra brassicae, ravageur contre lequel la lutte se poursuit à l'heure actuelle avec beaucoup plus de ressources techniques mais apparemment avec un succès non proportionnel aux efforts rendus, notamment à cause du manque de l'utilisation coordonnée des ressources de lutte.

Les raisons que l'on pourrait évoquer pour expliquer les échecs de la lutte contre Mamestra brassicae ont le risque de perdre leur impact sur les gens qui gèrent la lutte contre les ravageurs. Par force d'habitude, il devient un lieu commun de parler de lutte intégrée, ou de lutte biologique. Il semble donc nécessaire d'entamer une action sur le plan éducatif des utilisateurs des méthodes de lutte.

Mamestra brassicae s'est révélé comme insecte ravageur à cause des défauts dans la mauvaise gestion des agro-écosystèmes, l'excès et l'abus dans l'utilisation des produits chimiques, la trop haute sélection des plantes-hôtes et la lutte chimique étant le seul support de tout programme de lutte.

A cause de "l'heureux enchérissement" des insecticides chimiques (187 bis) l'un des impacts les plus immédiats a été celui de forcer les chercheurs et les consommateurs à chercher d'autres solutions de lutte (à titre alternatif ou complémentaire) moins chères et peu ou guère génératrices du "feeding back" qui est à la base des problèmes actuels. On fait ici référence aux branches anciennes et nouvelles de la lutte intégrée : la lutte biologique, la lutte microbiologique, les pratiques agronomiques des cultures, l'utilisation de variétés résistantes aux ravageurs, l'utilisation de phéromones, la technique du mâle stérile, "bobby trapping", les ultra sons, la télédétection, la lutte autocide en général, l'éducation et la législation et pourquoi pas, la lutte chimique intelligente.

Cette approche sur le comportement de Mamestra brassicae ne constitue qu'un exemple susceptible d'être reproduit sur de très nombreux cas de ravageurs créés par la disproportion entre la croissance économique et la connaissance de la nature. Nous espérons pouvoir contribuer efficacement dans la diminution de cette disproportion par l'apport d'information sur le composant naturel du problème.

1 - Taxonomie -

Nous avons suivi la classification proposée par BALACHOWSKY
(18) où Mamestra brassicae apparaît classée ainsi :

ORDRE LEPIDOPTERES
FAMILLE NOCTUIDAE
SOUS FAMILLE HADENINAE
GENRE MAMESTRA
ESPECE BRASSICAE L.

Nom Vernaculaire : La noctuelle du chou.

Nom V. de l'espèce homologue en Amérique :

M. configurata : The Bertha armyworm ou the cabbage armyworm

Synonyme : Barathra brassicae L.

La littérature décrit plusieurs espèces appartenant au genre Barathra, dont une grande partie pourrait être confondue à première vue du fait de sa ressemblance avec Mamestra brassicae.

Mamestra brassicae a été décrite pour la première fois par NEWMAN en 1885 (18). Aujourd'hui, ils ne sont pas moins d'un millier les travaux qui ont été consacrés au genre Mamestra sur des sujets très divers (16) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (38) (82) (42) (83) (84) (85) (105) (108) (109) (117) (139) (136) (264) (306).

Parmi les espèces appartenant au genre Mamestra ou ses principaux synonymes, il est important de retenir les cinq suivantes:

1 - Mamestra brassicae L.

Syn. Scotogramma trifolii Rott.

Barathra brassicae L.

2 - Mamestra persicariae L.

Syn. Polia ou Micelia persicari L.

pissi, tincta, oleracea, suasa.

Discestra trifolii

- 3 - Mamestra suasa
 Syn. Polia suasa
Miselia dissimilis SCHIF.
- 4 - Mamestra glauca
 Syn. Hadena glauca
Miselia glauca
- 5 - Mamestra pisi L.
 Syn. Polia pisi L.
Miselia pisi, nebulosa HFN
Hadena pisi L.
Miselia peregrina TR.
Miselia contigua SCHIFF.
Miselia thalassina ROTT.
Miselia w. latinum HFN.
Miselia dentina SCHIFF.
Miselia compta SCHIFF.

La coloration des ailes chez l'imago, la taille et l'envergure alaire, la présence d'un éperon à l'extrémité des tibias antérieurs, (Voir Photos.), le type de ponte, stries et leur coloration, sont particulièrement utiles pour l'identification correcte du matériel (144) sur terrain et dans le laboratoire.

2 - Cycle de vie -

La biologie et le cycle de vie de Mamestra brassicae L. ont été plusieurs fois étudiés (76) (82) (108). Nous nous limiterons à proposer le Tableau III-1 _{a,b} et la Figure 1 comme un résumé des observations des auteurs cités avant et celles recueillies lors de notre expérience personnelle.

TABLEAU III-1.a. - Durée en jours des différents stades de développement chez Mamestra brassicae dans des conditions de température et de nourriture différentes

STADE	TEMPERATURES				
	14 $\pm$ 1°C	20 $\pm$ 1°C		25 $\pm$ 1°C	
OEUF	11 J.	5,5 J.		3,5 J.	
	N*	N*	A*	N*	A*
CHENILLES					
L1	11	5,5-6	6	4	3,5
L2	7	3-3,5	3	2,0-3,0	2-3
L3	7	2,5-3,5	4	2,0-2,5	3-4
L4	6	3,0-3,5	4	2,0-2,5	3-4
L5	8	3,5-4,5	4,5	3	3
L6	12	4,5-6,0	5	4	3
PRENYPHE	11	3-3,5	3,5	2,5	3
NYPHE	50-60	21-23	21	12-14	14
TOTAL JOURS	123-133	47-58	51	37-39	34,5-37
LONGEVITE DES IMAGOS	20-26	15	-	10	10

* N : Nourriture naturelle

* A : Nourriture semi-naturelle .

TABLEAU III-1.b. - Valeurs extrêmes du poids par stade
de développement en milligrammes chez
Mamestra brassicae sur nourriture
naturelle ou artificielle selon (77)
(82)(108)

OEUFS	0,12 -	0,18	mg
L1	0,10 -	1,60	"
L2	2,0 -	12,0	"
L3	9,0 -	32,3	"
L4	29,1 -	79,5	"
L5	101,0 -	290,3	"
L6	387,5 -	590,0	"
PRENYMPHE	510 -	580	"
NYMPHE	270 -	550	"
IMAGOS	310 -	523	"
Mâles	374,6 -	413	"
Femelles	390 -	466	"

3 - Distribution et dégâts de Mamestra brassicae -

Ses caractéristiques d'insecte cosmopolite, unies à celles d'une polyphagie remarquable, font de Mamestra brassicae une espèce d'une importance économique réelle et potentielle (selon les cas) très élevée (117).

En effet, aux nombreuses plantes-hôtes (voir Tableau III-2), s'ajoute leur caractéristique de présenter jusqu'à 3 générations par an, aux limites tempérées des régions Néartique et Paléartique (Voir Figure 1), ce qui permet à Mamestra brassicae d'être présent toute l'année agricole dans ces régions ; en plus, les générations de diapause permettent un chevauchement des infestations.

Les ravages occasionnés par les chenilles sur de nombreuses cultures (Voir Tableau III-2) peuvent apparaître depuis la germination et se poursuivent jusqu'à la fin du cycle de la plante-hôte. Les dégâts se font surtout pendant la nuit. Les chenilles ont un comportement non grégaire à partir des stades L2 et L3, ce qui rend difficile leur contrôle.

La liste des pays dans lesquels on trouve Mamestra brassicae est longue. La figure 1 peut illustrer beaucoup mieux la distribution de M. configurata et Mamestra brassicae L.

Pendant la journée, les chenilles L5 et L6 notamment, peuvent rester dans le sol, sous les feuilles sèches et la nuit, elles remontent la plante-hôte. Dans le cas particulier du chou, Mamestra peut rester toute sa vie larvaire enfoncée dans les têtes des choux en perforant des galeries où l'on détecte la présence de l'insecte rien qu'à la forme et la taille et la texture de leurs excréments.

La surface cultivée, potentiellement susceptible d'attaques de Mamestra brassicae en Belgique, est de l'ordre de 165.000 Ha. si l'on tient compte des cultures de betterave, de pomme de terre,

de lin, et de choux, de pois, d'oignons et de tomates en 1979 (286 bis).

Cette potentialité est d'autant plus grande que même en menant une lutte de type intégré, le contrôle des populations sur les plantes-hôtes qui poussent dans les bordures des champs, font qu'il est impossible de penser à un contrôle permanent. Cependant, si les conditions techniques en Belgique sont suffisantes pour mener une lutte efficace, les conditions éducatives dans le sens de la lutte intégrée chez les producteurs ne sont malheureusement pas les meilleures pour garantir le succès d'un tel programme.

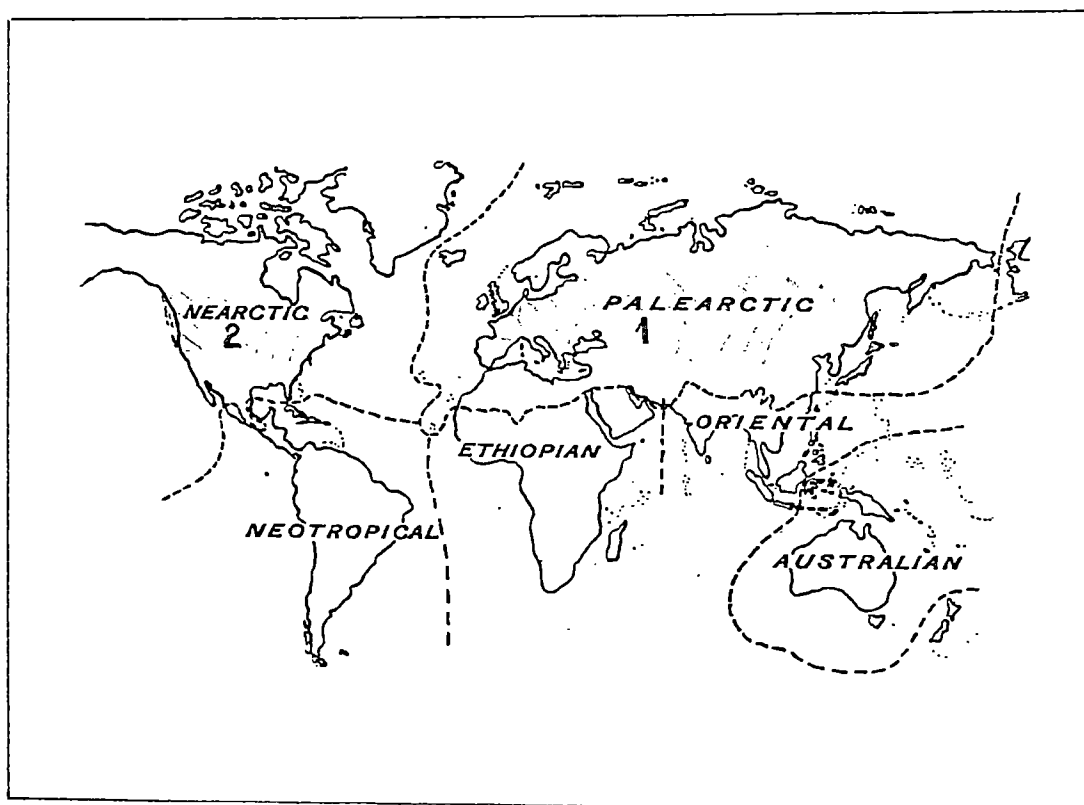


Figure 1 - Aire de distribution de *Mamestra brassicae* (1) et *M. configurata* (2) d'après la littérature consultée 1970 - 1980

B - L'ELEVAGE DE MAMESTRA BRASSICAE L. SUR MILIEUX NATUREL ET SEMI-NATUREL

1 - L'élevage sur milieu naturel - -----

Introduction

On peut tirer de nombreux profits de la mise en place d'un élevage permanent d'insectes, en particulier lorsqu'il s'agit de tester des produits insecticides en laboratoire. L'homogénéité des réponses est ainsi garantie (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (99) (76) (77) (291) (296) . En outre, se fier au matériel dont on ne connaît ni la provenance exacte ni l'histoire, peut être une source d'erreur dans la mesure où, par exemple , on attribue à un test insecticide une mortalité qui peut être imputable soit à la faiblesse relative de la souche (dégénérescence ou maladies) soit à une résistance due aux processus de sélection en laboratoire.

Il est donc toujours préférable de réaliser soi-même ses propres élevages afin d'éviter des interprétations éventuellement erronées. Il ne faut cependant pas négliger l'intérêt de se fournir aussi fréquemment que possible, des individus récoltés dans la nature afin de renouveler la vigueur de la souche du laboratoire. On aura comme résultat une plus grande production de l'élevage (77) (108) et la fertilité, la fécondité et la longévité en seront aussi accrues.

Une remarque doit être faite , quelque peu à l'encontre du souci de recherche de souches très bien adaptées. D'une part, elles nous fourniront des réponses peu variables face aux produits chimiques ou biologiques par exemple, d'autre part cet avantage constitue une difficulté lorsqu'il s'agit d'étudier le comportement des individus. Forcément, le phénotype comportemental est l'expression d'un certain génotype et qui par conséquent, si l'on utilise des souches dont la sélection a été poussée au long de plusieurs générations,

donnerait lieu à des génotypes adaptés qui ne seront pas forcément les meilleurs exemplaires du phénotype comportemental normal que l'on espère montrer et étudier (217).

Circonstances de l'élevage

Commencé en septembre 1976, notre élevage a été mis au point vers avril 1977. Il a produit 5 générations par année, renouvelées au moins une fois par an avec des souches sauvages. Nous l'avons commencé avec des souches de plusieurs centres de recherche en se basant sur leur expérience : Laboratoire d'Entomologie de l'INRA (La minière France), Centre de Recherches Phytoparasitaires Bayer à Leverkusen, Faculté d'Agronomie (Gembloux). Nous avons débuté avec des pontes ou des pupes qui constituent un matériel plus facile à transporter.

Quelle que soit l'origine de la souche, et plus encore lorsqu'il s'agissait de souches sélectionnées depuis plusieurs générations en laboratoire, des problèmes d'adaptation ont surgi. Même en reproduisant fidèlement les conditions dans lesquelles elles ont été élevées, les souches se sont mal développées, voire mal réadaptées. Ceci est probablement dû à la trop haute sélection faite au cours de plusieurs générations dans les élevages d'origine (82).

C'est pourquoi, nous avons finalement décidé de chercher une souche plus rustique, voire plus riche, dans la nature. De cette manière, nous allons garantir la possibilité de l'adapter à nos conditions d'élevage du fait de sa plus grande variabilité génétique.

Dès le début de l'élevage, les problèmes d'adaptation, de santé et de vigueur des individus ont disparu. La souche que nous avons élevée provient de champs de choux situés à St Denis à Meux (Brabant Wallon) où les pontes et larves ont été prélevées (Figure 3) et où des recherches sur le comportement de ponte de

Mamestra brassicae ont été réalisées.

Les paragraphes qui vont suivre concernant l'élevage sur milieu naturel vont être brefs, en raison de ce que nos résultats sur cet aspect de notre travail ont déjà été signalés dans un travail précédent (82), qui est d'ailleurs le point de départ de ce présent travail. Nous allons faire mention seulement des aspects nouveaux pour compléter ou éventuellement corriger notre publication antérieure.

Récolte du matériel en champ

Une fois renseignés sur les plantes-hôtes de Mamestra brassicae (82) (84) (Tableau III-2), nous avons choisi l'élevage sur Brassica oleracea pour des raisons d'ordre pratique et économique vu l'importance des surfaces consacrées à ces cultures (286 bis). Trois variétés ont été retenues pour nos expériences : variété cabus blanc , variété frisée Milan, et variété rouge tête de nègre.

Nos récoltes ont principalement porté sur des pontes, faciles à repérer et à sélectionner d'après leur taille et leur apparence (82) (Photos 1-2-3-4).

Caractéristiques du matériel biologique

Vers avril-mai, on trouvera davantage d'imagos et d'oeufs; de juin à la mi-octobre, on trouvera des larves (18) (76) (177). On veillera davantage à chercher des oeufs vers mai-juin ou des chenilles vers juin-août ou octobre (8). Cependant, les premières générations vont nous fournir du matériel moins affecté de diapause nymphale (30) (31) (32) (33), ce qui nous donnera un plus grand rendement des élevages.

La récolte des oeufs semble préférable pour commencer un élevage. Cependant, de manière exceptionnelle (tel l'été 1980), nous avons trouvé des infestations de chenilles très élevées sur des cultures industrielles qui ont dû être abandonnées pour cause de pluies excessives. Le manque de contrôle des infestations nous a permis de récolter plus de 50 individus aux stades L5 et L6 par plante-hôte.

Vu la variabilité de la taille des pontes trouvées sur le terrain, nous avons essayé d'éclaircir les avantages et désavantages de cette variation et leur origine.

TABLEAU III-2 - Principales plantes-hôtes de Mamestra brassicae L.

Nom scientifique	Nom vernaculaire
<u>Brassicae oleracea</u> var. <u>botrytis</u> L.	Chou Broccoli
<u>Brassicae oleracea</u> var. <u>ramosa</u> L.	Chou Cavalier
<u>Brassica oleracea</u> L.	Chou coeur de Boeuf
<u>Brassica campestris</u> L.	Chou sauvage
<u>Plantago lanceolata</u> L.	Plantain
<u>Beta vulgaris</u>	Betterave
<u>Ricinus comunis</u>	Ricin
<u>Allium cepa</u>	Oignon
<u>Latuca sativa</u> L.	Salade
<u>Beta vulgaris</u> var. <u>cicla</u>	Bette
<u>Rheum rhabarbarum</u> L.	Rhubarbe
<u>Pisum sativum</u>	Pois
<u>Cannabis sativa</u> L.	Chanvre
<u>Solanum tuberosum</u>	Pomme de terre
<u>Nicotiana tabacum</u>	Tabac
<u>Linum usitalisimum</u> L.	Lin
<u>Lycopersicum esculentum</u>	Tomate
<u>Atropa bella-donna</u> L.	Belladone
<u>Papaver somniferum</u> L.	Pavot
<u>Calendula officinalis</u>	Souci officinal
<u>Chrysanthemum</u> spp.	Chrysanthème

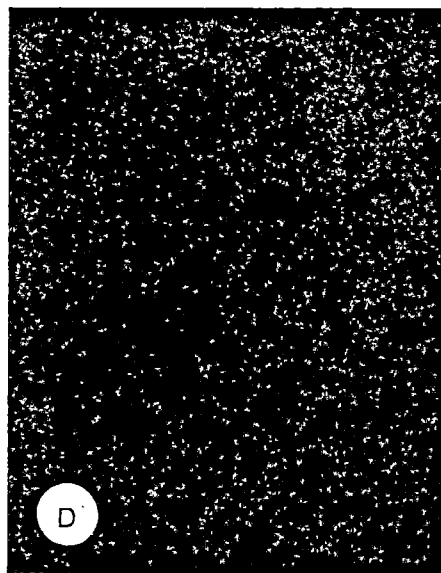
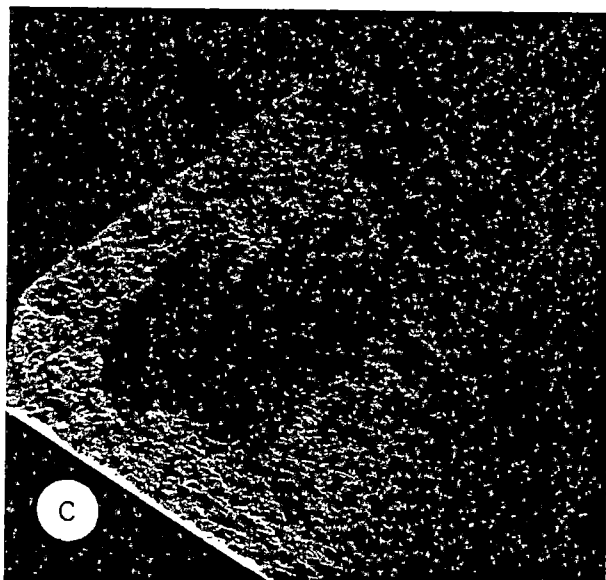
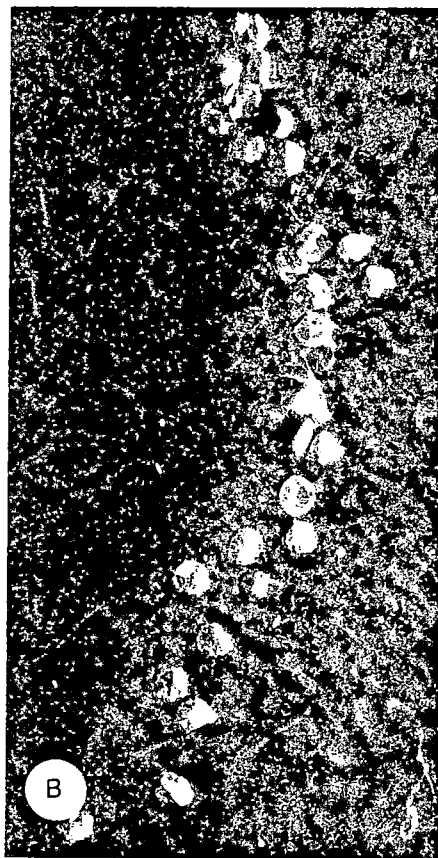
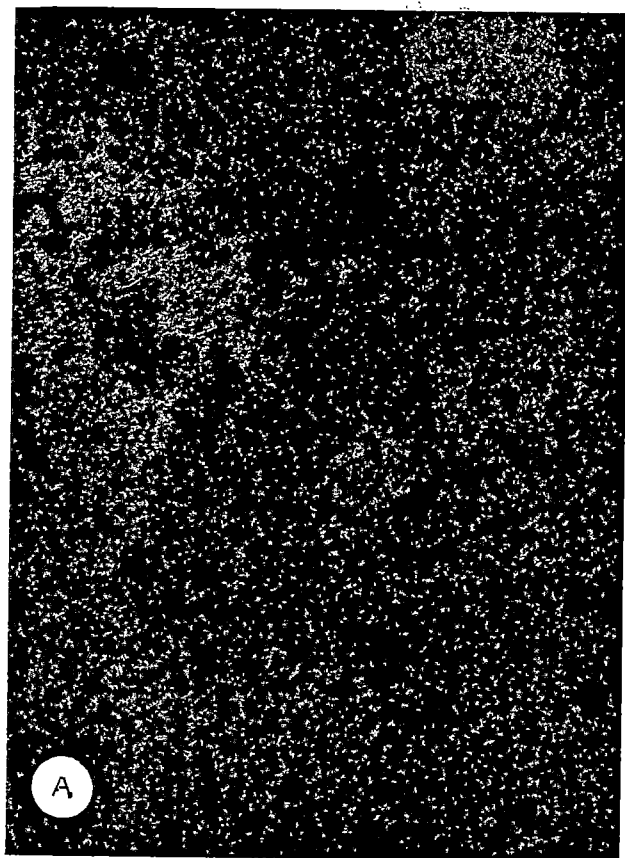
Les pontes de Mamestra brassicae sont normalement groupées (50-200 oeufs $\bar{X}$) mais en conditions de laboratoire, on peut avoir jusqu'à 500 oeufs par ponte. La taille est un premier critère de santé de la souche puisqu'en effet, plus la ponte est dispersée et plus on peut craindre des maladies (viroses ou bactérioses), une infécondité ou une stérilité de la souche (Voir Photo 1-A) (272) (322).

Les résultats d'un échantillonnage pratiqué au hasard sur le terrain nous permettent de constater une tendance croissante dans le % d'éclosion d'après la taille de la ponte.

Le Tableau III-3 et la Figure 4 permettent de mieux comprendre l'intérêt de la taille des pontes récoltées pour la mise en route d'un élevage.

TABLEAU III-3 - Données concernant le nombre d'oeufs et leur % d'éclosion chez Mamestra brassicae, dans un échantillonnage de pontes à tailles différentes, récoltées sur le terrain (été 1980)

Total des oeufs par ponte (x)	Nombre d'oeufs éclos	% d'éclosion observée (y)
12	8	66
15	11	73
19	13	68,4
28	25	89
35	33	94,2
74	69	93,2
90	83	92,2
150	141	94
191	175	91,6
428	413	96,5



Ensemble de Photos 1 - Aspects de la ponte de Mamestra brassicae L.

- A- Variation de la coloration d'après l'âge
- B- Ponte non agrégée. Chorions vides, souvent associés à des maladies de la souche.
- C- Ponte mélanisée proche de l'éclosion
- D- Ponte agrégée, associée à la vigueur et la fécondité de la souche.

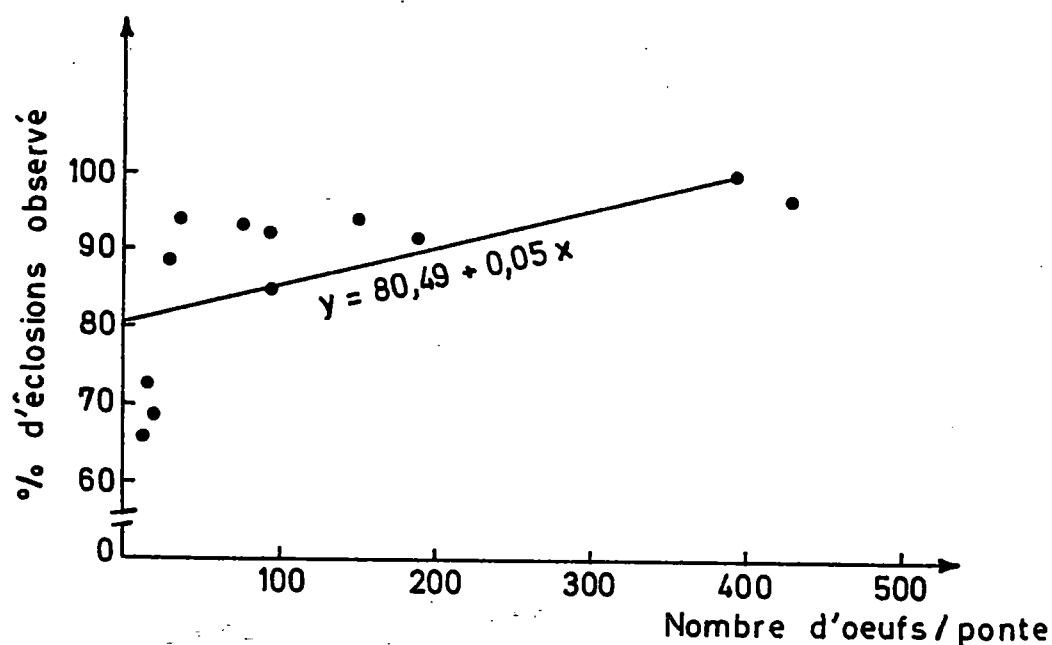


FIGURE 4 - Régression du % d'éclosion en fonction du nombre d'oeufs par ponte chez Mamestra brassicae L.

$$b = 0,05$$

$$\delta_b = 0,03 \text{ (écart type de la pente)}$$

$$\delta_{y/x} = 10,67 \text{ (écart type de la régression)}$$

La pente de la droite de régression calculée $b = 0,05$ dans $y = 80,49 + 0,05 x$ pourrait nous être utile comme critère de sélection de souches, ou pour mesurer l'impact d'un facteur répressif sur les souches en étude.

"b" peut donc constituer un coefficient de viabilité des pontes récoltées.

D'après la figure, la pente est très faible. Ce qui voudrait dire qu'il est toujours souhaitable d'avoir une grande taille pour bénéficier d'un pourcentage d'éclosion plus grand. Ceci est en rapport direct avec la vigueur de la souche.

Il est clair que la taille de la ponte peut dépendre de facteurs d'ordre intrinsèque (la souche) ou extrinsèque (le milieu).

Nous estimons que sur terrain, les facteurs du milieu ont un rôle assez important vis-à-vis de la taille des pontes. Ceci ressort facilement de la comparaison des tailles de pontes obtenues en laboratoire avec celles récoltées sur le terrain, ces dernières étant toujours plus petites.

Le vent, la pluie, la texture du feuillage de la plante-hôte sont des facteurs à retenir lors de l'étude des causes de la variabilité de la taille des pontes de Mamestra brassicae que nous allons entreprendre au paragraphe III-C.

D'autre part, du point de vue biologique, une ponte de grande taille (grand nombre d'oeufs par ponte) est associée à des conditions idéales de la vigueur, la santé et la fécondité de la souche. Le cas contraire, pontes à taille réduite, outre les facteurs du milieu, sont causées par la présence de maladies, d'infécondité ou de manque de vigueur.

Dans ces conditions, il serait possible d'imaginer une méthode assez simple pour comparer le comportement adaptatif de Mamestra brassicae vis-à-vis d'une plante-hôte non habituelle, ou la réponse de Mamestra brassicae à une méthode de lutte visant le comportement de ponte, rien que par l'observation des droites de régression de la taille des pontes en fonction des % d'éclosion selon l'un ou l'autre traitement ou variété.

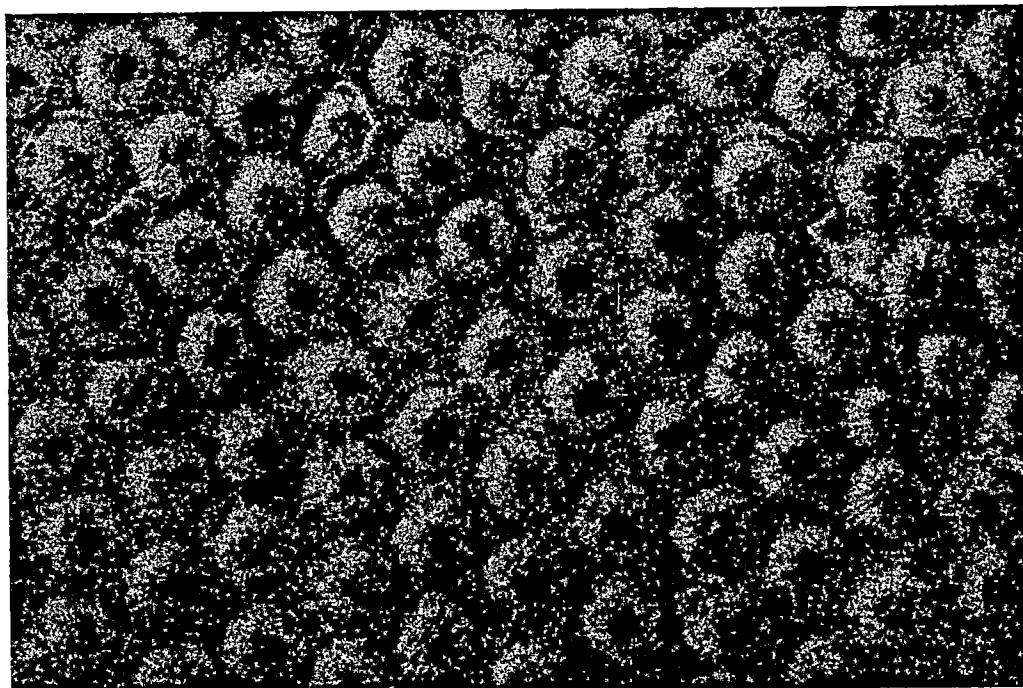


Photo 2 - Ponte normale de Mamestra brassicae.
Mélanisation du "microphyle" typique
d'une ponte fécondée .

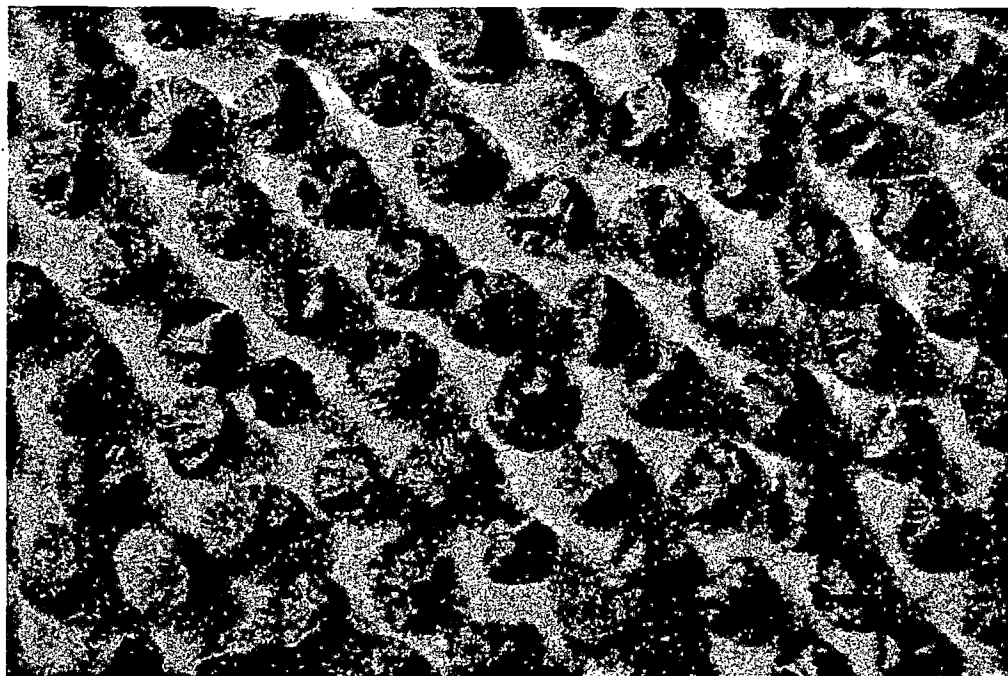


Photo 3 - Ponte ayant souffert des conditions de
température très élevées. Chorions vides
ou desséchés.

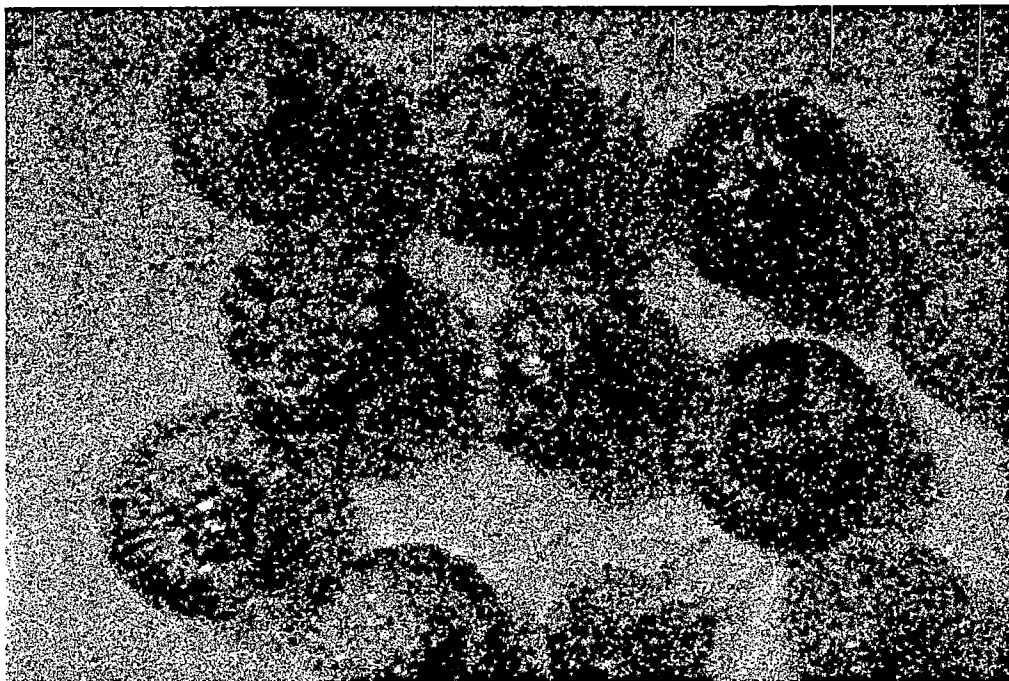


Photo 4 - Détail d'une ponte fertile proche de l'éclosion
des chenilles . La mélanisation de la capsule
céphalique en est le signe.

TABLEAU III-4 Maladies susceptibles d'apparaître dans les élevages de Mamestra brassicae(L.) *

AGENT PATHOGENE	OCCASIONNEL	ENDEMIQUE	FACTEUR PRINCIPAL	STADE LE PLUS VULNERABLE	SYMPTOMATOLOGIE GENERALE	TRAITEMENT A SUIVRE
<u>Mucor</u> (champignon)	Oui	-	Excès d'humidité dans le milieu	L6	Larves blanches et momifiées	Aération du milieu Elimination des larves mortes ou malades
<u>Serratia</u> sp (bactérie)	Oui	-	Nourriture infectée Feuilles pas propres	L5 et L6	Larves de teinte rose Manque de réaction Liquéfaction de couleur rougeâtre	Elimination des larves malades et mortes. Changer la nourriture
<u>Aerobacter</u> sp. (bactérie)	Oui	-	Température excessive. Nourriture et milieu trop humide. Alcalinité intestinale.	L6	Arrêt de consommation. Cadavres mous, coloration brune, reste seulement le tégument extérieur	Abaissér la température du milieu Replacer le papier ou la sciure des boîtes d'élevage. Eliminer les larves malades ou mortes.
<u>Nosema</u> sp. (protozoaire)	Oui	Oui	Transmission ovarienne. Feuillage contaminé.	Génération F1 postdiapausale dans L4 et L6	Larves rabougries, téguments noirs. Infertilité imaginale. Pontes anormales (oeufs dispersés).	Changer la souche,
Poliedrosis nucléaire et cytoplasmique (virus)	Oui	Oui	Transmission ovarienne et par nourriture contaminée.	Tous, principalement L1 à L5 et pupes	Larves molles, non actives, couleur pâle au début, brune et noire après. Liquéfaction totale des larves.	Changer la souche.

* Il n'est fait mention que des maladies les plus fréquentes.

A propos du transport du matériel récolté et des manipulations en laboratoire, nos observations sont déjà consignées (82) ; cependant, il est important de reprendre le Tableau III-4 concernant les aspects sanitaires de l'élevage.

Conditions microclimatiques particulières d'après le type d'expérience réalisée dans nos études sur *Mamestra brassicae*

Afin de suivre le plus fidèlement possible le comportement normal de l'espèce en étude *Mamestra brassicae*, et ses réponses comportementales et de croissance face au *Bacillus thuringiensis* nous avons établi une gamme de 3 températures et 2 photopériodes, facteurs déterminants de la vitesse de développement et de la diapause nymphale (30) (31) (33). On a aussi cherché à simuler dans nos conditions, celles des saisons auxquelles les imagos des vols de printemps et de fin d'été sont confrontés dans la nature. Dans les chapitres qui suivent, nous ferons appel à l'une ou à l'autre des catégories du Tableau III-5, qui résume les conditions particulières utilisées lors des expériences sur le comportement, la croissance et la sensibilité de *Mamestra brassicae* face au *Bacillus thuringiensis* B.

TABLEAU III-5 - Conditions microclimatiques particulières utilisées au long de nos expériences *

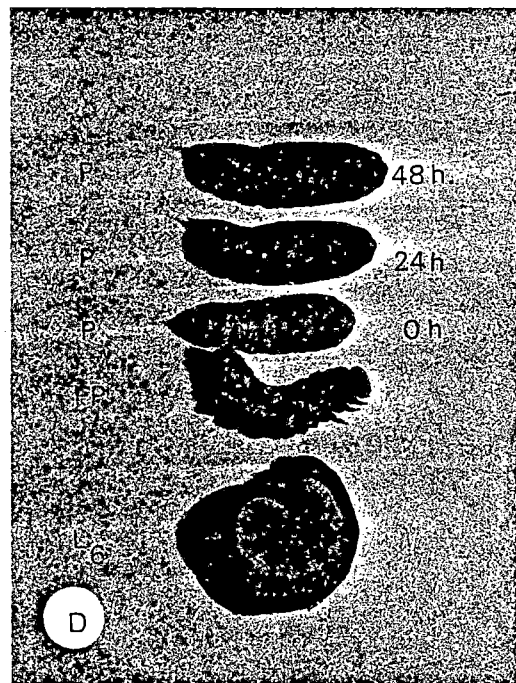
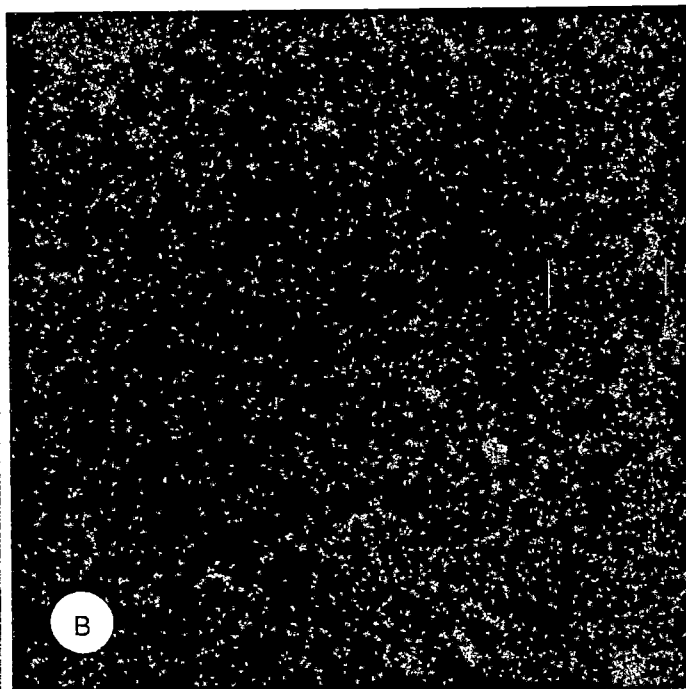
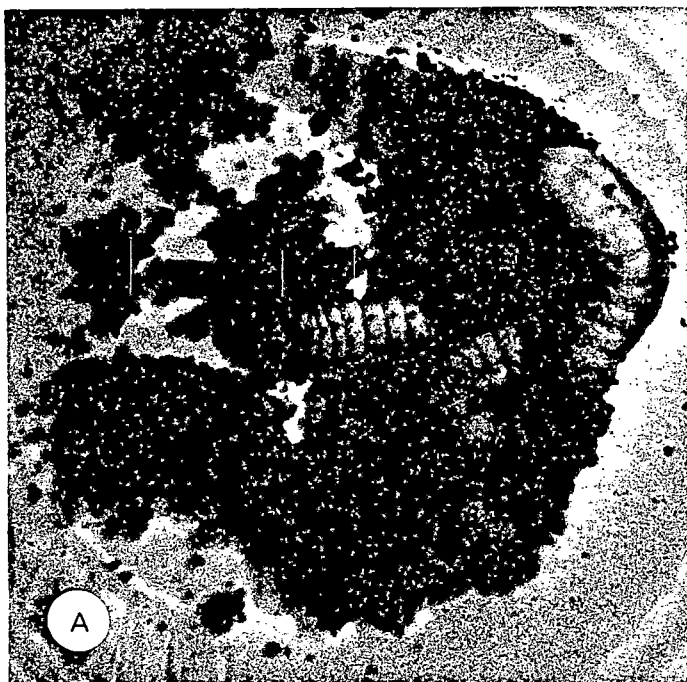
Micro-climat type	Température	Humidité relative	Distribution de la lumière dans le temps (heures)			
			Photo-phase	Scoto-phase	"dawn"	"dusk"
A	16 $\pm$ 2°C	75 $\pm$ 5 %	12	10	1	1
B	20 $\pm$ 2°C	70 $\pm$ 5 %	15	7	1	1
C	24 $\pm$ 2°C	65 $\pm$ 5 %	18	4	1	1

* Nous ferons souvent appel à ce tableau tout au long de notre travail.

Nourriture des larves

Vu la tendance des jeunes chenilles de préférer les feuilles tendres, il faut leur fournir du feuillage de bonne qualité. Feuilles trop jaunes, déshydratées (potager ayant subi de la sécheresse, par exemple) ou impropres sont à rejeter. Nos choux destinés à la consommation des chenilles avaient entre 1 1/2 et 2 mois après avoir été repiqués, et les feuilles plus tendres ont été sélectionnées pour nourrir les jeunes stades (L1 à L3).

Les aspects non mentionnés dans ce chapitre et qui concernent l'élevage de Mamestra brassicae peuvent être retrouvés dans la publication citée dans la référence (82). Les photos et figures qui suivent sont un complément graphique des aspects discutés auparavant.



Ensemble de Photos 5 - Série montrant quelques aspects des stades immatures de Mamestra brassicae L.

A- Chenilles L6 et prépupe dans milieu semi-synthétique

B- Prépupe

C- Pupes

D- Séquence des derniers stades de Mamestra brassicae L6, Prépupe (0 heure), Pupes à 24 et 48 heures.

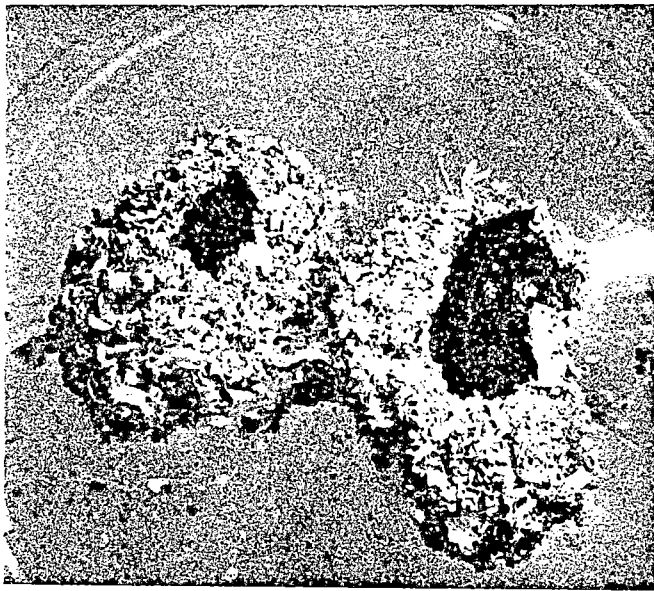
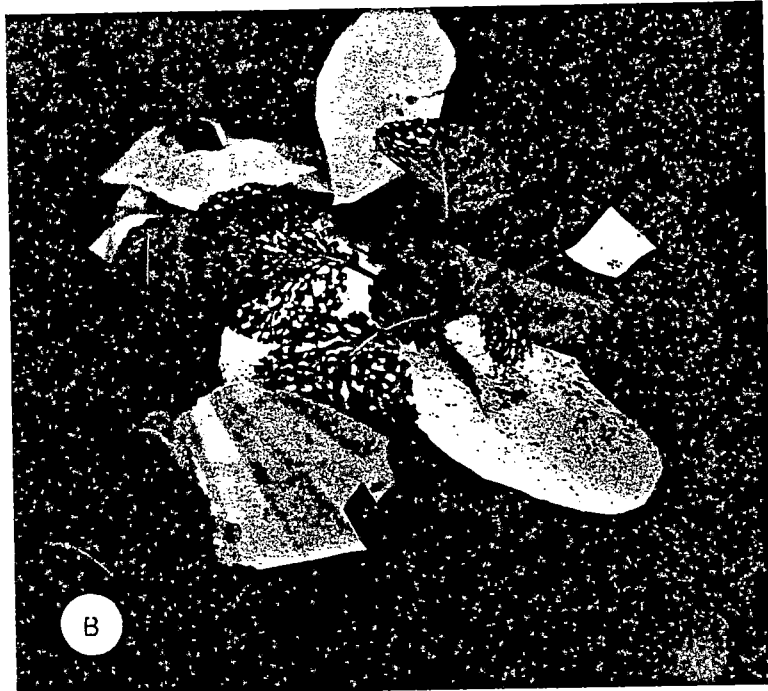


Photo 6 - Nymphose dans la sciure de bois fine.
Formation de "l'abri".



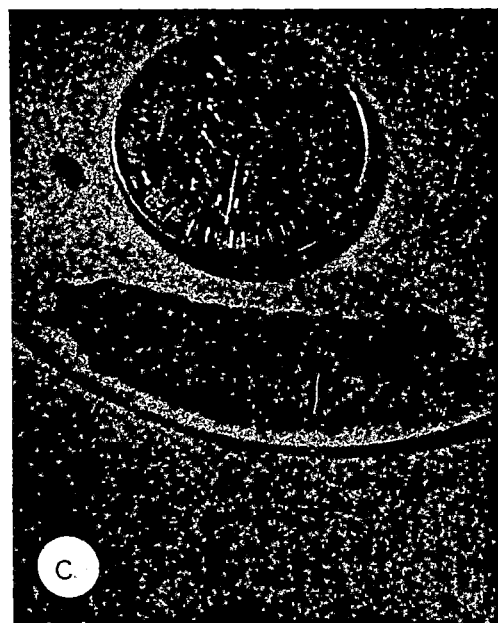
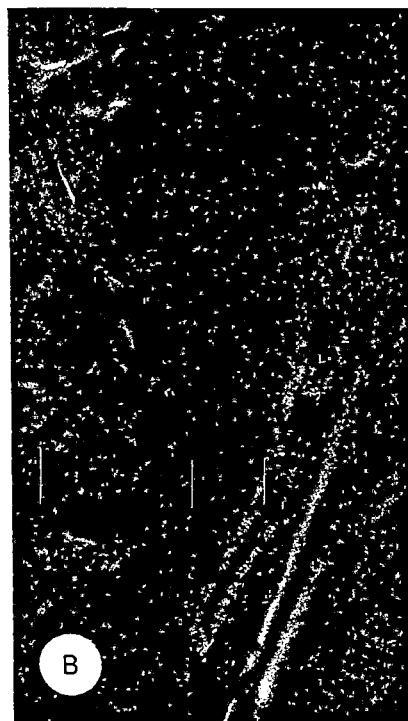
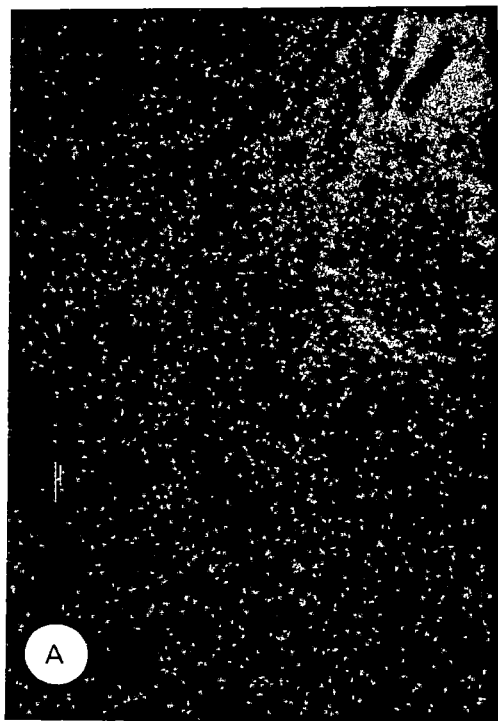
Ensemble de Photos 7 - Aspects des élevages de Mamestra brassicae en milieu naturel

A- Jeunes plants de chou infestés

B- Plant de chou infesté, après 8 jours

C et D - Boîtes pour l'élevage des chenilles et pour les test insecticides

D- Boîtes d'élevage de masse et pondoirs



Ensemble de Photos 7 bis - Stades larvaires de Mamestra brassicae
 A : L1 - L2 (5x) ; B : L2 - L3 (3x) ; C : L5 - L6 (1x)
 D : L5 parasitées (1x) ; E : L4 (3x)

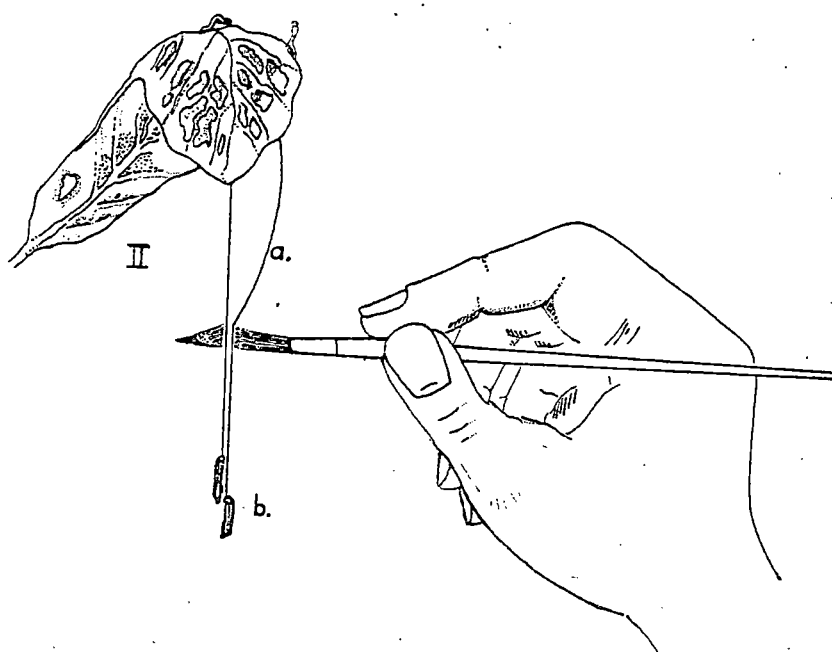
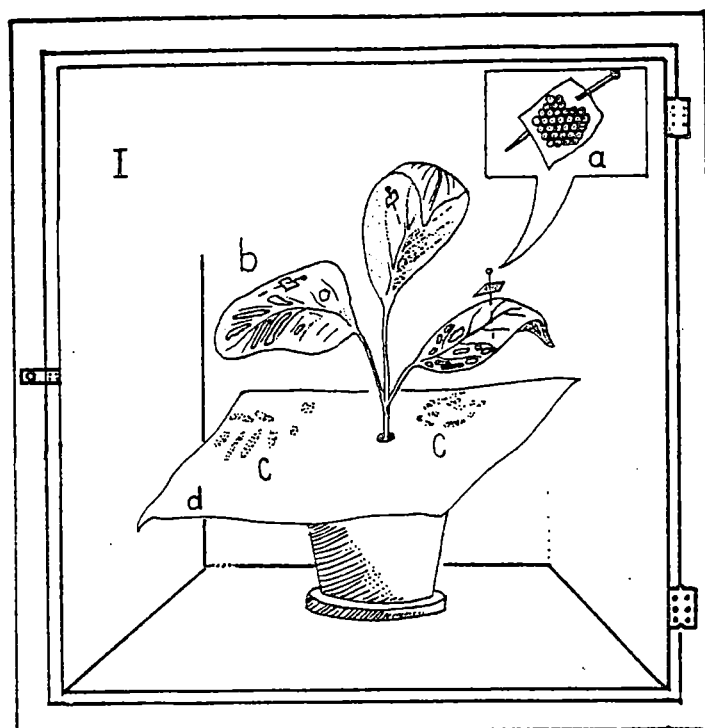


FIGURE 4 bis-I - Disposition des pontes sur les feuilles de choux dans une cage d'élevage de masse.

a. ponte - b. dégâts - c. excréments -
d. papier pour récupération de chenilles.

II - Méthode pour la manipulation des petites chenilles.

a. fil à soie - b. larves L1 - L2 - L3.

Une mention spéciale des aspects morphologiques des génitalia de Mamestra brassicae sera faite avec une description détaillée, au chapitre consacré au comportement d'accouplement.

La nourriture des imagos à base de miel et d'eau (82) sol. à 10% a été améliorée avec l'addition d'une solution de vitamines à 1% (Voir Tableau III-6). Ceci, afin de contribuer à la vigueur et la longévité des imagos (99) (82) (322).

Finalement, l'ensemble des opérations de l'élevage est résumé au Tableau III-9 où il est comparé aux opérations nécessaires pour l'élevage sur nourriture semi-synthétique qui sera décrit ci-après.

2 - L'élevage de Mamestra brassicae L. sur nourriture semi-synthétique

Afin de pouvoir gagner du temps, d'améliorer la qualité des chenilles et d'augmenter leur homogénéité pour nos recherches, il a été très utile de mettre en route un élevage sur milieu artificiel.

De nombreuses expériences préalables dans la littérature (35) (57) (76) (99) (119) nous ont fourni les bases théoriques pour notre élevage dont nous décrirons, dans la suite, la technique et ses avantages par rapport à celui mené sur la nourriture semi-synthétique. Le Tableau III-9, en fin de chapitre, est un résumé des comparaisons établies selon notre expérience.

Lorsqu'on observe le temps demandé pour l'élevage sur nourriture naturelle, il est facile de comprendre la nécessité d'économiser du temps, de la main-d'oeuvre et de l'argent. D'autre part, la diète naturelle peut fournir les éléments indispensables à la croissance et le développement normal des chenilles, l'homogénéité et la qualité d'une telle nourriture sont plus difficiles à contrôler.

Ces considérations ont été à la base de notre option pour la recherche d'une méthode d'élevage sur milieu semi-synthétique.

Plusieurs auteurs ont mis au point différentes compositions de nourriture pour la production de Lépidoptères (16) (29) (57) (99) (109). Nous avons choisi comme formule de départ, celle de BUCHER (46) étudiée pour Mamestra configurata, espèce très proche de Mamestra brassicae (114) (18).

Nos premiers résultats ont décelé la nécessité de mieux adapter la nourriture de BUCHER à Mamestra brassicae et à nos conditions, notamment concernant la composition en eau et en agar.

Composition en eau

En ce qui concerne le pourcentage d'eau dans la composition de la nourriture, d'une part, il fallait trouver l'équilibre juste entre les besoins en eau des chenilles, dont le rôle est primordial pour la croissance et le développement normal, et pour la régulation de l'ingestion (315) ; et d'autre part, il fallait conférer au milieu nutritif une texture idéale, tout en gardant la qualité du point de vue nutritif et de la consistance.

Des travaux réalisés sur Agrotis ypsilon R. (231) et Prodenia eridania (270) ont démontré qu'une nourriture à faible teneur en eau diminue la conversion de la nourriture en biomasse (231) (311) (315), peut nuire à l'oviposition et prolonge la durée du développement larvaire et imaginal (312).

Dans l'aspect sanitaire, les excès d'eau dans la nourriture favorisent la croissance de levures et de moisissures et donne à la nourriture la consistance molle qui rend difficile le déplacement normal des larves et entraîne en conséquence, une mortalité élevée, notamment chez les deux premiers stades larvaires.

Après plusieurs tentatives, nous avons fixé la quantité d'eau en la diminuant dans des proportions optimales (200^{cc} par 1680 g. de diète). L'agar a été augmenté par rapport à la nourriture de BUCHER (35) et la levure diminuée.

Finalement, la viande de luzerne a été remplacée par la viande de soja dont la teneur en protéines est équivalente, et cela, pour des raisons d'approvisionnement.

Le Tableau III-6 présente la liste des ingrédients de la nourriture, ainsi que leur quantité pour 1680 grammes de nourriture préparée et prête à utilisation.

Préparation de la nourriture

Les composants A (Voir Tableau III-6) sont mélangés dans un mixer jusqu'à homogénéisation complète.

Les composants B sont émulsifiés avec 20 ml d'alcool éthylique à 75 % ajoutés à A et mixés. L'alcool disparaît par évaporation de telle sorte qu'il n'est pas considéré comme un composant de la nourriture artificielle. L'agar est dissous dans l'eau (composants C) ; A, B, C sont mixés ; quand le mélange atteint $45 \pm 5^{\circ}\text{C}$, on ajoute les composants D, c'est-à-dire l'acide ascorbique et la solution de vitamines, cela afin d'éviter de nuire à l'activité de celles-ci par une température trop élevée.

Pour prévenir des contaminations en surface, on laisse la diète exposée pendant une heure au moins sous les rayons U.V. Elle n'est pas autoclavée pour éviter de détruire les protéines et les vitamines.

Stockage

La nourriture peut être conservée à 5°C si elle est à utiliser dans les huit jours qui suivent. Pour une conservation plus longue, il faut la maintenir à -20°C (35).

La nourriture est stockée dans les récipients où elle sera présentée aux larves, les couvercles étant bien ajustés et gardés de préférence dans des sachets en plastique.

La solution de vitamines peut être, elle aussi, préparée à l'avance et gardée dans des flacons en plastique hermétiquement fermés et placés à -20°C . De la sorte, elle peut se conserver pendant plus de six mois (35).

TABLEAU III-6 - Produits , quantités utilisées et prix valables pour 1979 * qui entrent dans la composition d'environ 1680 g de nourriture artificielle

Compo- sants	Produit	Quantité utilisée	Prix de la * quantité utilisée
A	1- Farine de soya	200 g	FB. 19,20
	2- Germe de blé	50 g	24,30
	3- Levure	30 g	326,60
	4- Viande de soya	25 g	2,63
	5- Sucrose	25 g	17,05
	6- Sel Wesson	1 g	0,194
	7- Methyl Paraben	3 g	5,25
	8- Chlorotétracycline	0,3 g	14,40
	9- H ₂ O distillée	800 ml	
B	1- Huile de lin	10 g	1,92
	2- B- sistostérol	1 ml	6,82
C	1- Agar	30 g	60,90
	2- Eau distillée	200 ml	
D	1- Acide ascorbique	9,6 g	18,33
	2- Solution vitaminée	96 ml	69,91
	-choline chloride	50 ml	
	-niacinamide	0,5 g	
	-calcium panthotenate	0,5 g	
	-B ₂	0,25 g	
	-thiamine hydrochloride	0,125 g	
	-acide folique	0,125 g	
	-B ₆	0,125 g	
	-biotine	0,010 g	
	-B ₁₂	0,001 g	
TOTAL		1680 g =====	FB. 504,58 =====

Quelque 20 % des prix doit être ajouté pour 1981
 * (29 FB = 1 dollar)

Aspects sanitaires

Un état sanitaire convenable est indispensable au maintien des élevages d'insectes dans des conditions de laboratoire, soit en nourriture naturelle, soit en nourriture artificielle. Pour satisfaire cette exigence, il est nécessaire :

- de désinfecter périodiquement aux vapeurs de formol la chambre climatisée .
- d'essuyer préalablement la table de travail à l'alcool.
- de tremper les pinces dans une solution formolée à 10 %.
- de bien rincer et laver le matériel.
- de veiller à ne pas laisser la nourriture artificielle plus de cinq jours à la disposition des larves. L'humidité excessive de la diète favorise la croissance de levures et de moisissures. Une nourriture peu fraîche ou trop sèche, allonge le développement des chenilles, augmente la mortalité et les pupes comme les papillons peuvent présenter des malformations (Voir Photos 11).

Malgré les soins pris, des contaminations d'origine fongique et/ou bactérienne peuvent survenir spécialement aux derniers stades larvaires. S'il ne s'agit pas d'un élevage en masse, les larves malades peuvent être éliminées ainsi que les gobelets contaminés ou susceptibles de l'être ; le cas échéant, il faut recommencer l'élevage; c'est pourquoi, nous insistons ici sur l'importance des récipients d'élevage. Nous avons utilisé plusieurs types ; de tous ceux testés, les gobelets à glace en plastique se sont avérés les meilleurs. Leur couvercle en carton non paraffiné permet aisément les échanges d'air et servent éventuellement à éliminer tout excès d'humidité de la nourriture; ils occupent peu de place ; ils sont disposables et ils ne sont utilisés qu'une seule fois ; ils sont économiques et, en cas de maladies, il suffit d'éliminer les gobelets contaminés pour réduire les risques d'épizooties et, par conséquent, les pertes. Nous pouvons considérer comme un avantage, le fait que les gobelets soient prévus pour contenir tous les stades. Au fur et à mesure

que les larves grandissent, nous diminuons leur nombre par gobelet afin qu'elles ne se dérangent pas entre elles et évitent le cannibalisme (Voir Photos 9).

TABLEAU III-7 - Utilisation des gobelets d'après l'âge de Mamestra brassicae

Nombre de chenilles par gobelet	Stades	Temps utile par gobelet -Jours
200	L1	2-3
50	L2	3-4
10-15	L3	3-4
1-2	L4,5,6	5-6

Méthode d'élevage

Des pontes homogènes et comptant de 100 à 200 oeufs sont choisies et placées dans les gobelets contenant de la nourriture artificielle.

Comme les jeunes larves manifestent un géotropisme négatif et un phototropisme positif (18) (35) (99), les récipients translucides sont placés à l'envers, ce qui en outre, empêche que la nourriture soit souillée par leurs déjections (Voir Photos 8-9).

La nourriture est remplacée avant le cinquième jour. Nous plaçons dans un nouveau gobelet une cinquantaine de larves au stade L2. Nous transférons délicatement, à l'aide d'un pinceau, celles qui ne tombent pas par agitation du récipient. Nous procédons de la même façon pour les stades L3 et L4. Voir Tableau III-9. Les larves L5 et L6 doivent de préférence rester isolées.

Dans le cas d'un élevage de production où le nombre de boîtes à manipuler est grand, on peut en mettre plus (3 ou 4) en tenant compte des risques tels que le cannibalisme ou l'effet de masse et les avantages tels que la diminution de perte de nourriture non utilisée et où l'effet de groupe sont à souligner.

La nymphose a lieu dans les mêmes boîtes, sous les restes de nourriture sèche (Voir Photos 9). Les nymphes ayant plus de 48 h. (mélanisées) sont ramassées et sexées d'après la description de Dusaussoy (76) et gardées dans des boîtes de Pétri tapissées de papier filtre.

Au moment où elles présentent une mélanisation accrue, des esclérites oculaires (Voir Figure 9), elles sont disposées dans des boîtes de plexiglass (29 x 16 x 9 cm) dont les couvercles et les côtés sont munis d'un orifice d'au moins 4 cm. de diamètre recouvert de toile de bluter. L'intérieur des boîtes est entièrement tapissé de papier buvard destiné à recueillir les pontes que l'on trouvera davantage sous le couvercle.

Les adultes sont maintenus dans les mêmes dispositifs utilisés pour l'élevage sur nourriture naturelle (Voir Tableau III-9).

Nous avons comparé les deux calendriers de travail de façon à mettre en évidence les avantages de la nourriture artificielle sur la nourriture naturelle (Tableau III-9), ainsi que le rendement exprimé en pourcentage de survie des larves soumises aux deux régimes (Tableau III-8).

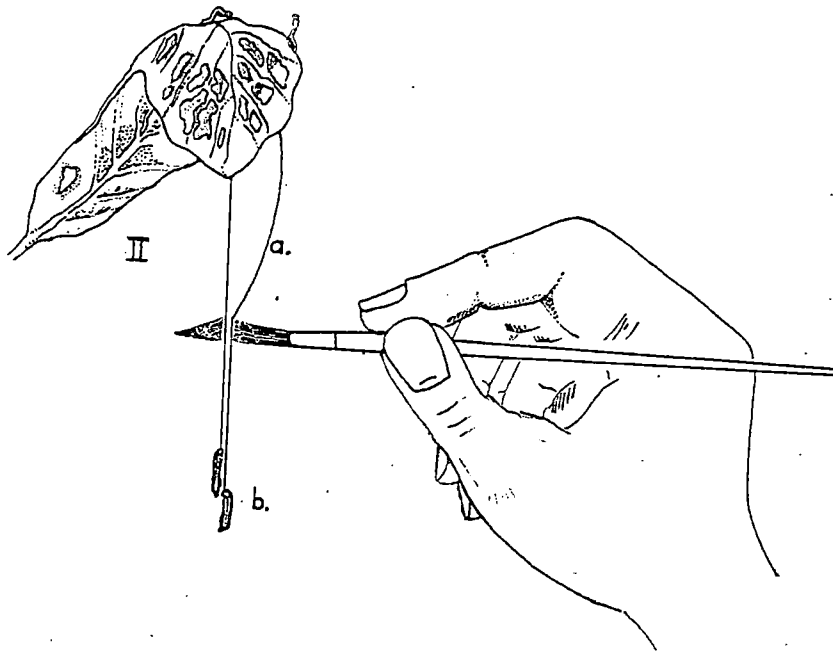
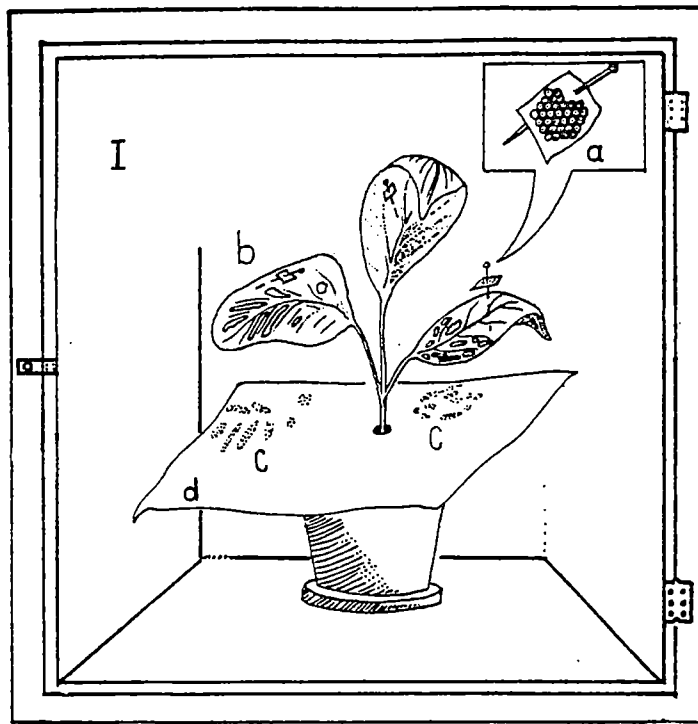


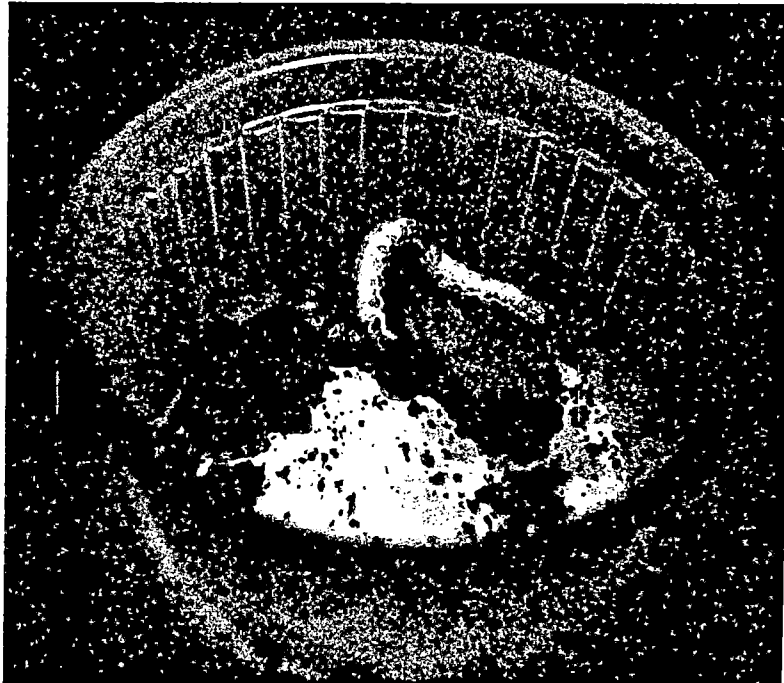
FIGURE 4 bis-I - Disposition des pontes sur les feuilles de choux dans une cage d'élevage de masse.

a. ponte - b. dégâts - c. excréments - d. papier pour récupération de chenilles.

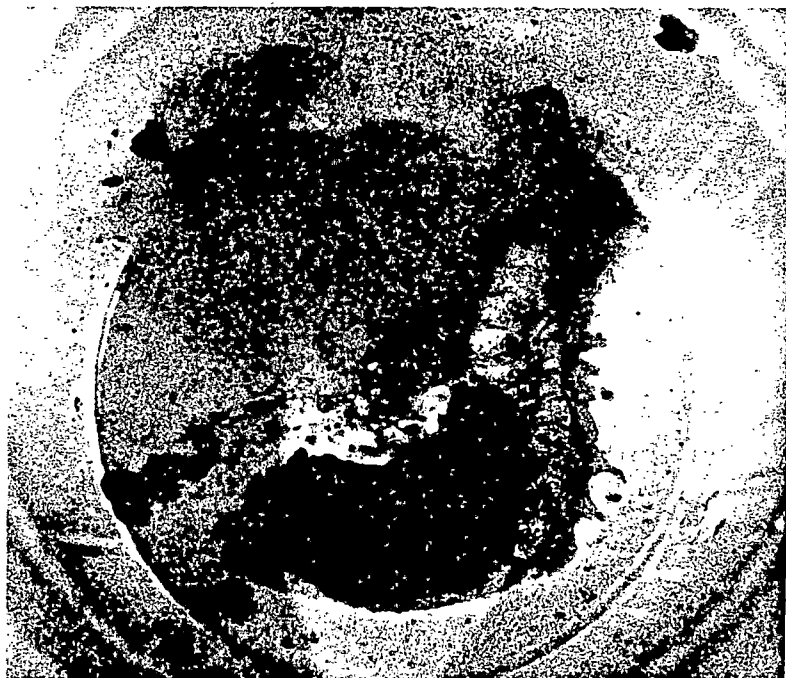
II - Méthode pour la manipulation des petites chenilles.

a. fil à soie - b. larves L1 - L2 - L3.

-A-



-B-

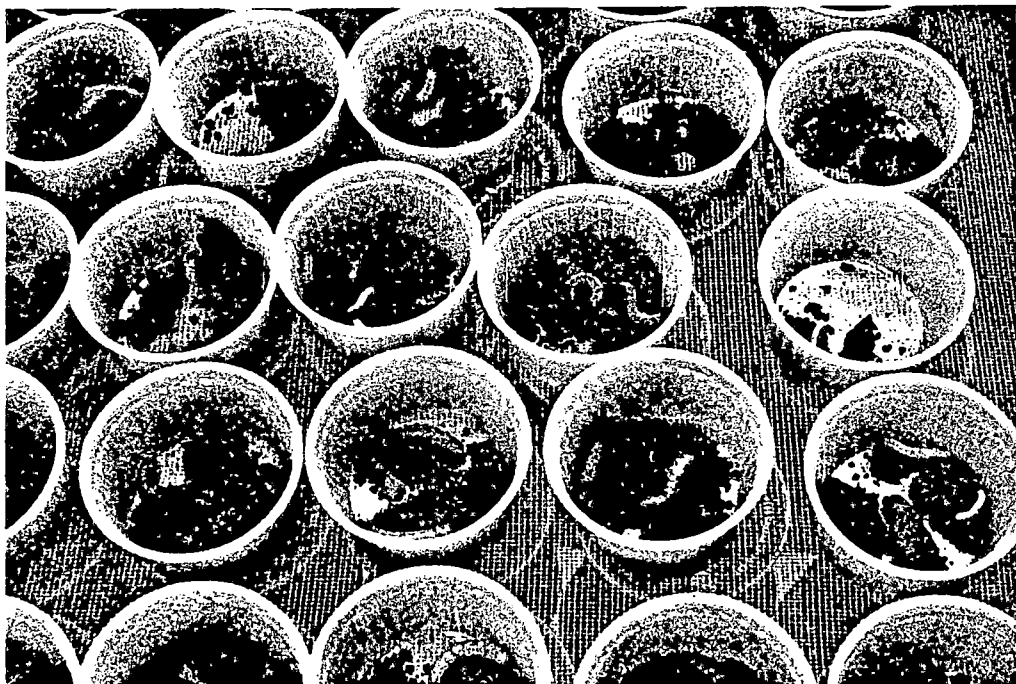


Ensemble de Photos 8 - Aspects sur l'élevage en milieu
semi-synthétique

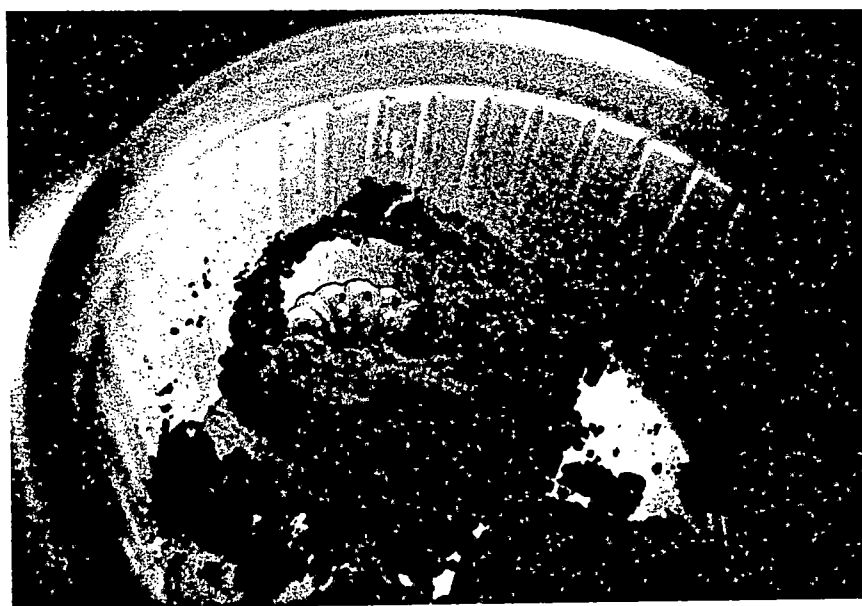
A- Conditions du milieu trop sec . Taille réduite des chenilles

B- Milieu trop humide et apparition de moisissures et maladies

-A-



-B-

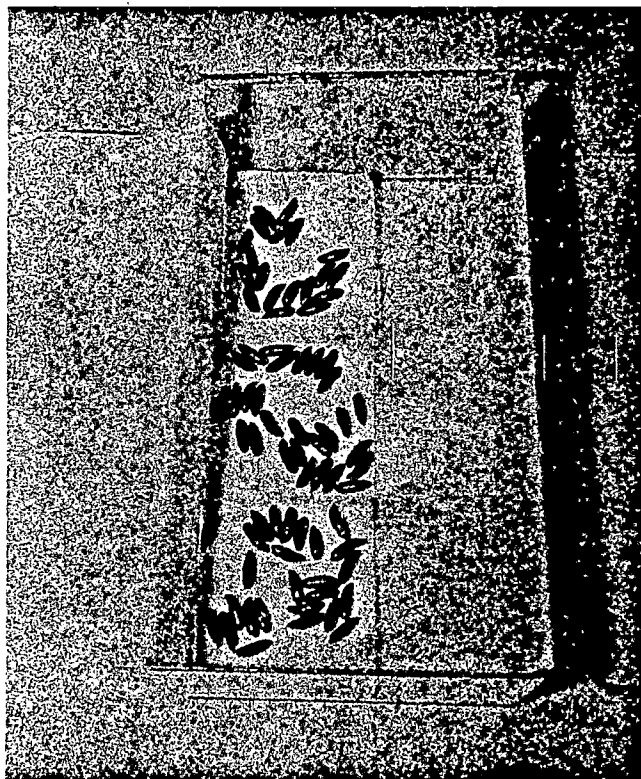


Ensemble de photos 9 - Détail des récipients pour l'élevage
de Mamestra brassicae sur milieu semi-
synthétique.

A- Chenilles L5

B- Prénympe et "abri"

-A-



-B-



Ensemble de Photos 10 -

A- Pondoir avec des pupes de Mamestra brassicae

B- Différentiation sexuelle des pupes de Mamestra brassicae
d'après les derniers sclérites abdominaux (vue ventrale)
♀ femelle à gauche

TABLEAU III-8 - Pourcentage * d'individus vivants à chaque stade de développement sur deux nourritures différentes et à trois températures (à partir d'une souche sauvage 1979)

Nourriture Semi-synthétique				Nourriture naturelle		
Température °C						
	15°	20°	25°	15°	20°	25°
Nombre initial d'oeufs	(200)	(200)	(200)	(200)	(200)	(200)
STADES						
L1	94%	92%	97%	93%	85%	88%
L2	82	76	87	74	80	81
L3	73	70	79	61	60	64
L4	71	70	76	52	56	59
L5	65	68	70	47	54	55
L6	63	60	68	45	50	51
Nymphes	61	60	68	36	44	49
Imagos	59	58	67	35	42	46

* Calculé d'après: $\% = \frac{\text{Nombre d'individus/stade}}{200} \times 100$

TABEAU III-9 Comparaison des calendriers de travail pour l'élevage de Mamestra brassicae en nourriture artificielle et en nourriture naturelle dans nos conditions 22° ± 2°C , 70 % HR , 16 : 8 Photopériode.

Jour	Stade	Elevage sur nourriture naturelle Travail à réaliser	Temps employé (hr)	Elevage sur nourriture artificielle Travail à réaliser	Temps employé (hr)
0 - 5	Oeufs	Entretien du potager et sélection des feuilles pour pour l'alimentation des chenilles (1/2 heure/jour)	20	Peser les produits, préparer la nourriture et la couler dans les gobelets	4
		Sélection et désinfection des pontes. Distribution des oeufs sur les jeunes plantes du chou.	10	Placer les ooplaques choisies dans les gobelets	2
5 - 7	L1	Remplacer la nourriture:(N)	2	Placer les larves dans de nouvelles boîtes. Une centaine par boîte	1 1/2
7 - 11	L2	(N)	2	Placer entre 40 et 50 par boîte	1 1/2
11 - 14	L3	Changer les boîtes d'élevage ± 200 par boîte+(N) + (P)*	16	Changer les larves de boîte	1 1/2
14 - 15	L4	* Changer le papier buvard des des fonds des boîtes=(P)+(N)	2	Mettre cinq larves par boîte	4
16 - 18	L5 L6	(N)+(P)+Tapisser le fond des boîtes avec sciure de bois	6	Placer 1 ou 2 larves par boîte	6
23	Pré-nymph Nymph	Trier	1	Ramasser les nymphes et les sexer	4
26					
30 - 36	"	Désinfection des installations et outils d'élevage	4		4
38	"	Préparation des cages d'éclosion des imagos	3		3
40	Imagos	Placer les dispositifs alimentaires=(D.A.)	1/2		1/2
41 - 42	Copulation	(D.A.)	1/2		1/2
45 - 53	Ponte	Retirer journalièrement les ooplaques pour triage et désinfection + (D.A.)	16		16
			+ 3		+ 3
		Préparer les choux pour la continuation de l'élevage	4		-
TEMPS TOTAL EN HEURES			92	51 1/2 h	

Conclusion

L'élevage sur nourriture artificielle présente de nombreux avantages sur celui mené en nourriture naturelle. Il s'agit notamment :

- Une économie remarquable de temps établie en heures de travail . Temps précieux pour les chercheurs et coûteux pour la recherche.
- Un nombre inférieur de manipulations et, par conséquent, un stress moindre pour les larves , ce qui apparaît exprimé par une survie accrue (Tableau III-8 et III-9).
- Le prix de revient par chenille élevée est plus favorable du fait des économies en main-d'oeuvre.
- L'homogénéité des individus ainsi élevés vont nous permettre de disposer en permanence du matériel suffisant et de bonne qualité nécessaire à nos recherches.

La taille des chenilles de même âge aura des écarts moins grands , ce qui facilite le prélèvement d'individus pour nos tests de comparaison d'insecticides. L'âge et la taille pourront être étudiés ensemble. Ceci résoud les problèmes qui se posent assez souvent quand l'on veut comparer des insecticides en faisant référence au stade larvaire mais nullement à la taille des chenilles testées. Il est clair que l'efficacité d'un produit étant fonction du poids vif de la cible, il sera affecté en fonction de la taille et de la croissance des insectes-cibles. Ce qui explique aussi pourquoi les valeurs des CL50 sur une espèce donnée ne sont jamais identiques si c'est en fonction du stade larvaire qu'ils ont été établis. La nourriture artificielle permet donc de standardiser les conditions des tests.

- Enfin, la diète semi-synthétique peut être disponible toute l'année et son homogénéité permet d'éliminer les biais fréquemment occasionnés par une diète naturelle ayant subi des conditions défavorables sur terrain (sol non fertile,

sécheresse, etc...). La croissance ou mieux, l'opportunité de croissance est ainsi similaire pour toute la population élevée en laboratoire.

Pour des résultats optimaux, il faut veiller aux conditions sanitaires et à ce que les larves aient à leur disposition de la nourriture fraîche tant que dure leur période d'alimentation. Un élevage à grande échelle réduirait les coûts unitaires mais ne nous a pas été nécessaire puisque nos besoins se sont limités à un maximum de 2.000 chenilles par mois.

D'autre part, la nourriture naturelle présente des désavantages gênants tels que l'entretien d'un potager toute l'année qui risque d'être soumis à l'attaque des ravageurs contre lesquels la lutte est difficile vu l'interdiction des insecticides tant chimiques que microbiologiques à cause du but même de la culture et de l'élevage.

C - L'AMELIORATION DES ELEVAGES DE MAMESTRA BRASSICAE L.

Une fois les élevages mis en route et que les problèmes d'adaptation des souches, de la qualité de la nourriture et d'aménagement de locaux sont au point, il reste encore quelques étapes à accomplir dans le but d'optimiser l'effort et l'investissement qu'un élevage demande normalement.

Dans cette optique, il est nécessaire de préciser dans quelles conditions, les mâles et les femelles auront une plus grande facilité pour accomplir leur reproduction. La proportion de sexes et le nombre total d'individus par pondoïr doivent être connus. C'est la raison des expériences qui suivent sur les aspects :

- 1- Etude du sex:ratio et le coefficient d'agrégation de la ponte.
- 2- Densité optimale d'individus par pondoïr.

- 1 - Détermination du sex:ratio et du coefficient d'agrégation de la ponte de Mamestra brassicae en laboratoire
-

La surpopulation dans les pondoïrs peut nuire sérieusement au comportement des imagos. La ponte se voit ainsi affectée, la fréquence des accouplements en est diminuée et par conséquent, les rendements de l'élevage sont aussi limités.

D'autre part, étant donné les caractéristiques de polygamie de Mamestra brassicae, il fallait déterminer le nombre idéal de mâles et de femelles à confiner dans les pondoïrs et leur proportion idéale .

Mâle : Femelle (sex-ratio)

Cet objectif a été recherché avec l'expérimentation qui est proposée ensuite (Voir Tableau III-10).

- SEX : RATIO -

Plusieurs critères ont été considérés pour composer les combinaisons proposées au Tableau III-10. Nous avons choisi la quantité d'oeufs par femelle, la qualité de la ponte (taille) et la viabilité (% de chenilles nées) des oeufs recueillis dans chacune des cinq proportions comparées.

TABLEAU III-10 - Type et distribution des combinaisons pour la détermination du sex-ratio idéal dans nos conditions d'élevage

Combinaison	Proportion des sexes	Nombre d'individus confinés par pondoir de 3000 c.c.	Nombre de répétitions par souche
	<u>Mâle : femelle</u>	<u>Mâles : femelles</u>	
A	1 : 1	2 : 2	4
B	2 : 1	4 : 2	4
C	1 : 2	2 : 4	4
D	3 : 1	3 : 1	4
E	1 : 3	1 : 3	4

Les expériences se sont déroulées dans les conditions micro-climatiques du type B (Voir Tableau III-5) afin que celles-ci se rapprochent des conditions de travail normal en laboratoire. De même, une expérimentation a été faite avec la souche de laboratoire et une autre avec une souche sauvage récoltée en juillet 1980.

On a dénombré la quantité totale d'oeufs et de pontes (plages) par femelle, et un coefficient d'agrégation a été proposé pour comparer la qualité des pontes en fonction du rapport nombre de pontes / $\frac{0}{f}$ à nombre d'oeufs par ponte.

Nous avons considéré important de retenir le critère d'agrégation pour comparer les combinaisons, sur la base de nos résultats

de la fertilité observée dans la récolte de matériel pour la mise en route de nos élevages (Voir Tableau III-3).

Il fallait donc pouvoir établir un index qui puisse nous permettre de comparer des pontes à taille apparemment similaires. C'est ainsi qu'en nous basant sur les valeurs maximales qu'une femelle est capable de pondre (pontes et oeufs) (77) (82) (108), nous avons utilisé une formule qui exprime l'agrégation des pontes dans des valeurs qui oscillent entre 0 et l'unité. La valeur zéro doit correspondre à la limite théorique minimale de l'agrégation (ponte non agrégée ou des oeufs dispersés) et l'unité est la limite (théorique) maximale d'agrégation dans le cas d'une femelle qui fait une seule ponte comprenant la totalité des oeufs qu'elle aurait été capable de pondre au long de sa vie imaginaire. Ce sont des valeurs extrêmes théoriques jamais atteintes dans la pratique, ce qui nous permet d'obtenir des chiffres toujours dans la fourchette proposée $0 \rightarrow 1$.

La formule est la suivante :

$$\text{C.a.} = 1 - \frac{P}{E} \quad (20)$$

qui nous permet d'obtenir des valeurs entre 0 et 1, ou bien,

$$\text{C.a.} = \left[1 - \frac{P}{E} (20) \right] \cdot 100 \quad \text{pour obtenir des valeurs exprimées en pourcentages}$$

où C.a. = Coefficient d'agrégation

P = Nombre total de pontes par femelle

E = Nombre d'oeufs pondus par femelle (E est toujours $> P$)

20 = Facteur de correction établi expérimentalement pour fixer notre échelle de référence, sachant que d'après nos observations, le rapport $\frac{P}{E} = \frac{1}{20}$ n'est jamais atteint.

Dans d'autres termes, la condition $\frac{P}{E} < \frac{1}{20}$ est toujours respectée.

En effet, nous posons que le quotient $\frac{P}{E}$ nous fournira des valeurs qui respecteront la condition

$$0 < \frac{P}{E} < \frac{1}{20}$$

lorsque P est la variable, et E, est considérée comme étant une valeur à peu près constante par femelle. Ainsi, lorsque P augmente, $\frac{P}{E}$ augmente aussi et dès lors, C.a. tend vers 0.

Lorsque P diminue, $\frac{P}{E}$ est plus petit et par conséquent, C.a. tend vers l'unité.

Les Tableaux III-11 à III-18 sont le sommaire de nos observations et analyses.

TABLEAU III-11 Nombre d'oeufs (E) observés par répétition après 5 jours d'expérience avec Mamestra brassicae

Code Combinaison*	I	II	III	IV	TOTAUX	$\bar{X}$	D.S. **
A	3212	4019	3628	4103	14962	3740,5	408,63 a
B	3172	3968	4109	3715	14964	3741,0	412,87 a
C	4321	3980	4430	4506	17237	4309,25	232,26 a
D	1721	1412	980	902	5015	1253,75	383,85 b
E	1769	914	760	1982	5425	1356,25	609,10 b

TABLEAU III-13 Nombre de pontes (P) observées par combinaison et par répétition après 5 jours chez Mamestra brassicae

Code Combinaison*	I	II	III	IV	TOTAUX	$\bar{X}$	$\pm$ D.S. **
A	20	25	19	24	88	22	2,94 c
B	21	19	26	24	90	22,5	3,11 c
C	52	48	54	61	215	53,75	5,44 b
D	21	23	18	22	84	21	2,16 c
E	90	82	74	87	333	83,25	6,99 a

TABLEAU III-15 Nombre de pontes (P) par FEMELLE dans les 5 combinaisons chez Mamestra brassicae

Code Combinaison*	I	II	III	IV	TOTAUX	$\bar{X}$	$\pm$ D.S. **
A	10	12,5	9,5	12	44,0	11	1,47 c
B	10,5	9,5	13	12	45,0	11,25	1,55 c
C	13	12	13,5	15,3	53,8	13,44	1,30 c
D	21	23	18	22	84,0	21,0	2,16 b
E	30	27,3	24,7	29	111,0	27,75	2,32 a

* A= 1:1 ; B= 2:1 ; C= 1:2 ; D= 3:1 ; E= 1:3 (Mâles : femelles)
 ** D.S. = Déviation Standard. Les combinaisons suivies d'une lettre commune ne sont pas significativement différentes du seuil (0,01 %) - Test de Duncan.

TABLEAUX III-12,14,16 - Pour l'analyse de la variance des données des Tableaux III-11,13 et 15 respectivement

Tableaux	Source de	Somme des	G.L.	C.M.	F	Degré de Signific.*
III-12	Traitements	33.964.159,4	4	8.491.039,85	46,67	H.S.
	Erreur	2.729.219,1	15	181.947,94		
	Total	36.693.378,5	19			
III-14	Traitements	12.198,5	4	3.049,63	150,23	H.S.
	Erreur	304,5	15	20,30		
	Total	12.503,0	19			
III-16	Traitements	852,67	4	213,17	64,45	H.S.
	Erreur	49,61	15	3,31		
	Total	902,28	19			

TABLEAU III-17 - Nombre moyen d'oeufs par FEMELLE de Mamestra brassicae après 5 jours d'observation des combinaisons étudiées

Combinaison	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm$ D.S. **
A	1606,00	2009,5	1814,0	2051,5	1870,13	204,32 a
B	1586,00	1984,0	2054,5	1857,5	1870,50	206,44 a
C	1080,25	995,0	1107,5	1126,5	1077,31	58,07 b
D	1721,00	1412,0	980,0	902,0	1253,75	383,85 b
E	589,00	304,6	253,3	660,67	452,08	202,91 c

TABLEAU III-18 - Analyse de la variance pour les données du Tableau III-17

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	C.M.	F	Degré de Signific.
Traitements	5.686.232,18	4	1.421.558,05	25,73	H.S.
Erreur	828.749,74	15	552.449,98		
Total	6.514.981,92	19			

* H.S. = Hautement significatif

** D.S. = Déviation Standard. Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents (test de Duncan) (0,01 %).

TABLEAU III-19 - Tableau pour le calcul du coefficient d'agrégation (C.a.) de la ponte de Mamestra brassicae

Combinaison *	Nombre d'oeufs/ (E)	Nombre de pontes/ (P)	C.a. **
A	1870,25	11	0,88
B	1870,50	11,25	0,88
C	1077,31	13,44	0,75
D	1253,75	21,00	0,67
E	452,08	27,74	0,23

** C.a. = $1 - \frac{P}{E}$ (20)

* Voir tableau III-10

TABLEAU III-20 - Résultats globaux de pontes ; pontes par femelle et viabilité dans les 5 combinaisons (mâles : femelles) étudiées pour Mamestra brassicae

Combinaison	Total Pontes	Moyenne Pontes par femelle	Nombre de chenilles écloses	Pourcentage de viabilité de la ponte
A	88	11,00	13.762	92,0
B	90	11,25	12.916	86,3
C	215	13,44	8.200	47,6
D	84	21,00	4.023	80,2
E	333	27,74	2.021	37,3

- Résultats et Discussion -

Les résultats des Tableaux III-11,12,13,14,15,16 nous ont toujours montré des différences hautement significatives entre les combinaisons (mâles:femelles) comparées.

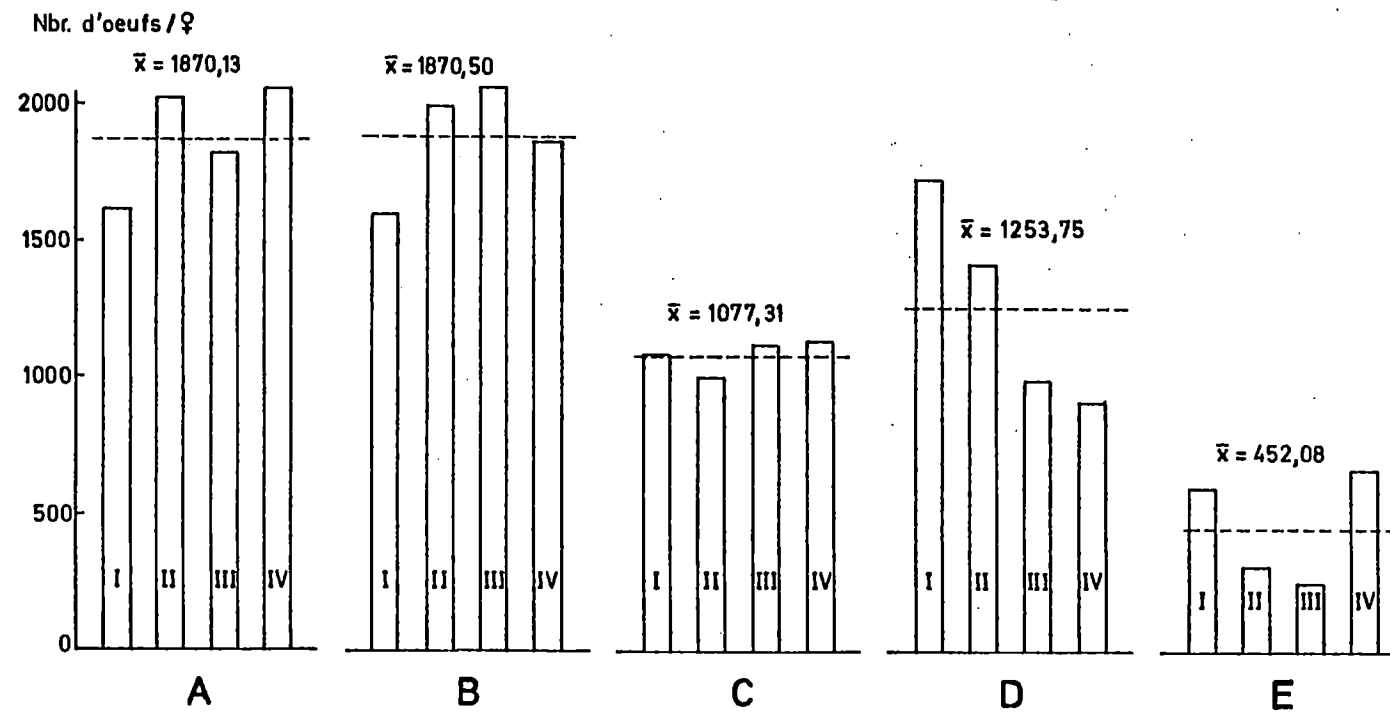
Au Tableau III-11, deux groupes sont établis, ABC avec une ponte plus nombreuse qu'aux traitements D,E.

Les Tableaux III-15 et III-16 nous fournissent un résultat intéressant pour l'amélioration des rendements des élevages.

En effet, les combinaisons A,B et C sont statistiquement inférieures (0,1 %) aux combinaisons D,E. Ce qui veut dire qu'une ponte plus dispersée apparaît chez D,E. Ou bien que les proportions 3:1 et 1:3 ne conviennent pas au comportement reproductif de Mamestra brassicae .

Au Tableau III-17, le nombre moyen d'oeufs pondus par femelle est supérieur pour A et B mais il n'y a pas de différence entre C et D. Finalement, dans tous les Tableaux III-11 à III-18, les combinaisons A et B sont toujours les plus convenables pour une ponte nombreuse tout en préservant l'agrégation (nombre d'oeufs par ponte, élevé), ce qui peut être vérifié par les résultats du (C.a.) exprimés au Tableau III-19. Finalement, au Tableau III-20, la viabilité des pontes nous montre une fois de plus une supériorité de A et B sur les autres combinaisons .

Les Figures 5, 6 et 7 illustrent ces résultats.



Nombre d'œufs par femelle et moyennes des cinq proportions (♂:♀) comparées

Figure 5

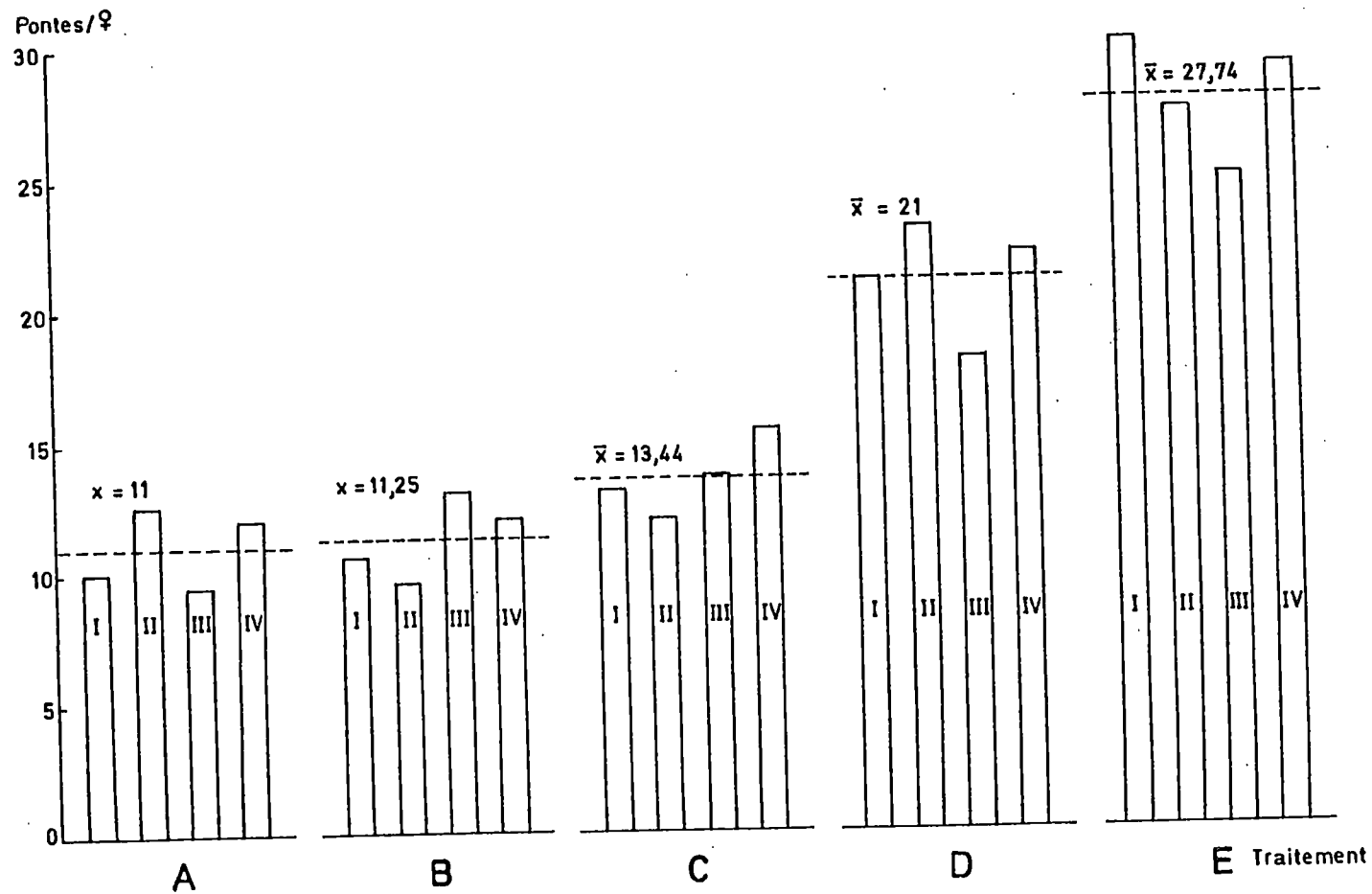


Figure 6 - Nombre de pontes par femelle et valeurs des moyennes des cinq proportions (mâle-femelle) comparées.

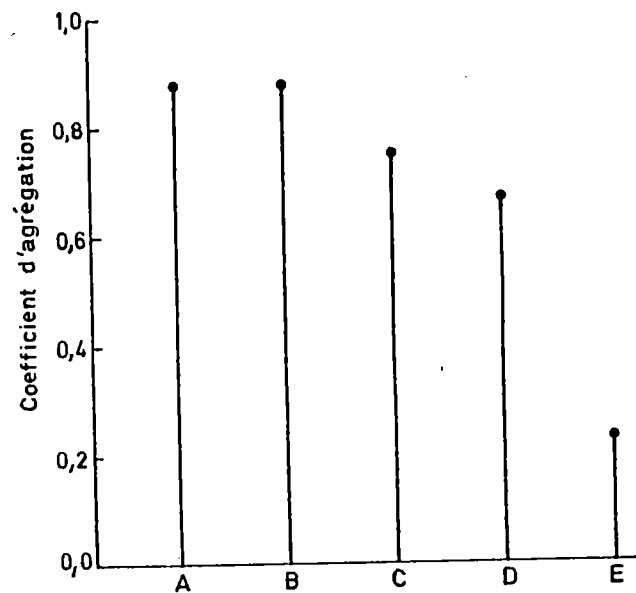
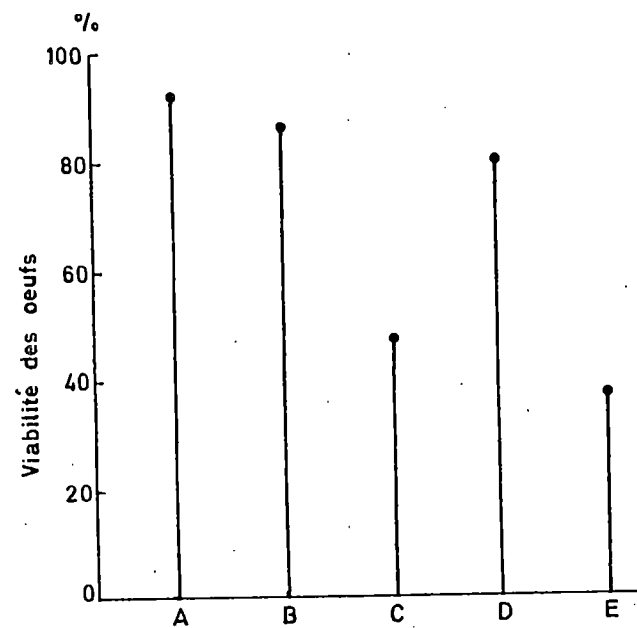


Figure 7 - Résultats de la viabilité (%) des oeufs de *Mamestra brassicae* et du coefficient d'agrégation de la ponte d'après le sex-ratio dans les pondoirs en conditions de laboratoire.

- Discussion et conclusion -

Nous pouvons donc en conclure que la proportion à recommander lors des élevages de masse dans les pondoirs que nous avons utilisés, doit être 1:1 ou 2:1 , (σ^1 : φ) pour garantir un rendement idéal en ce qui concerne la qualité et la viabilité des pontes.

Etant donné que les conditions d'élevage ont été similaires sauf la proportion d'individus confinés aux pondoirs, il se dégage la présence d'un facteur intrinsèque à la population qui doit jouer un rôle de régulateur, aussi bien dans le comportement d'accouplement, donc de fécondation des femelles, que dans le comportement de ponte.

Un de ces facteurs peut être la densité excessive ou réduite selon le cas, de la population de mâles ou de femelles. L'autre peut être aussi la densité totale d'individus par unité du volume des pondoirs. Mâles et femelles peuvent être en effet gênés par un excès de la densité de population, soit par la présence des individus, soit par le facteur "phéromone" dont nous allons faire un bref commentaire en fin de l'expérience qui suit, qui essaye de compléter ces résultats.

D'autre part, selon nos observations, l'émission de la phéromone par les femelles déclenche chez les mâles un comportement de réponse bien typique. Dans le cas d'une femelle confinée avec plusieurs mâles en général, tous répondent à l'appel de la femelle et cela peut empêcher un accouplement rapide. Dans le cas contraire, un grand nombre de femelles, même si l'accouplement a lieu avec une ou deux femelles, la chance de s'accoupler pour toutes les femelles est moins grande, d'autant plus que l'accouplement peut durer jusqu'à 24 heures.

Finalement, il apparaît dans nos résultats que plus la ponte est élevée, plus le coefficient d'agrégation est élevé. On peut penser que les femelles ont une tendance à pondre de façon plus groupée (ponte à grand nombre d'oeufs) et à faire moins de pontes quand les conditions leur sont favorables. Ce qui permettrait

de mieux évaluer la méthode d'élevage du point de vue qualité du milieu fourni aux imagos de Mamestra brassicae.

2 - Détermination de la densité optimale des imagos de Mamestra brassicae dans les pondoirs en laboratoire

Une fois établie la proportion idéale des mâles et femelles à confiner dans les pondoirs à 3000 cc (Photos), il fallait aussi fixer la densité maximale d'individus qui fourniront la plus grande quantité d'oeufs par femelle. Il s'agit donc de chercher un équilibre entre les effets de masse et de groupe, de normale occurrence dans ce type d'élevages (34) (77).

- Méthode -

Dix combinaisons, à savoir : 1,2,3,4,5,6,7,8,9 et 10 couples de Mamestra brassicae ont été mis dans les pondoirs et nous y avons dénombré la quantité totale d'oeufs pondus pendant 8 jours. Quatre répétitions ont été réalisées et le type microclimatique a été le B (Voir Tableau III-5).

Les pontes ont été récoltées chaque jour pour garantir une bonne disponibilité de la surface de ponte. Les soins nécessaires d'alimentation et de propreté ont été observés normalement selon la méthode d'élevage décrite avant (82).

- Résultats -

Les résultats du nombre d'oeufs par boîte et par couple (femelle) ont été rassemblés aux Tableaux III-21,22.

Le Tableau III-23 présente l'analyse statistique des résultats . La Figure 8 est la représentation graphique des résultats.

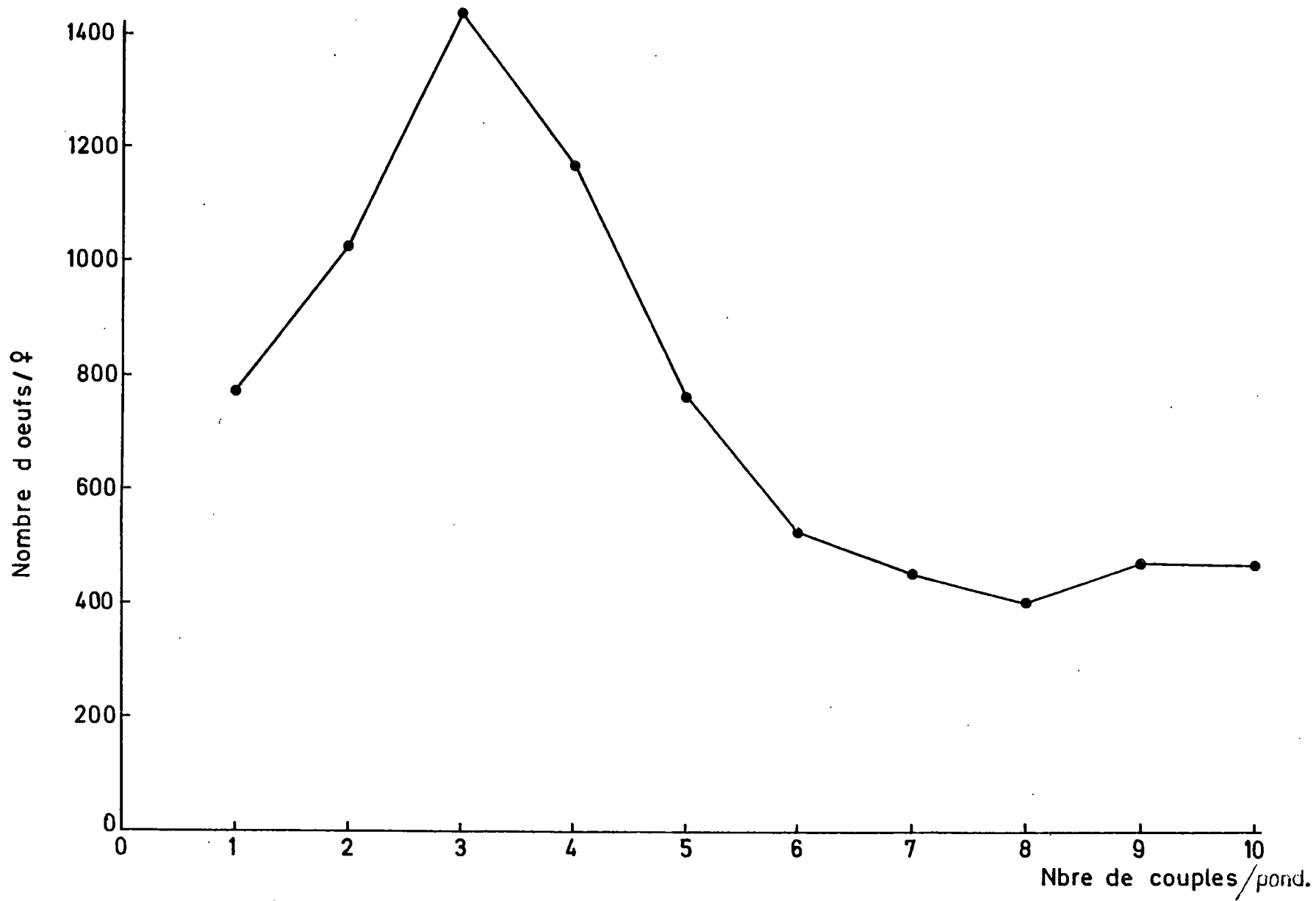


Figure 8 - Nombre d'oeufs pondus par femelle de Mamestra brassicae en laboratoire d'après le nombre de couples confinés par pondoir.

TABLEAU III-21 - Nombre total d'oeufs pondus par 1,2,3,...10 couples de Mamestra brassicae en conditions de laboratoire - Pondoirs de 3000 cc

Nombre de couples	Nombre total d'oeufs par boîte et répétitions					
	I	II	III	IV	$\sum X$	$\bar{X}$
1	10	1680	798	681	3107	776,75
2	2206	2032	1574	2414	8226	2056,50
3	4100	4658	3753	4730	17241	4310,25
4	5284	4349	4156	4903	18692	4673,00
5	3591	2282	4682	4701	15256	3814,00
6	3493	3601	2142	3419	12655	3163,75
7	2693	3760	4220	2139	12812	3203,00
8	4392	2342	2563	3629	12926	3231,50
9	4022	4972	4327	3964	17285	4321,25
10	5635	5201	4358	3773	18967	4741,75

TABLEAU III-22 - Nombre moyen d'oeufs par femelle de Mamestra brassicae récoltés en laboratoire. Pondoirs de 3000 cc

Nombre de couples							*
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm$ D.S.	
1	10,00	1618,00	798,00	681,00	776,75	659,6	b
2	1103,00	1016,00	787,00	1207,00	1028,25	178,78	b
3	1366,67	1552,67	1251,00	1576,67	1436,75	155,38	a
4	1321,00	1087,25	1039,00	1225,75	1168,25	128,98	a
5	718,20	456,40	936,40	940,20	762,80	229,11	bc
6	582,17	600,17	357,00	569,83	527,29	114,21	c
7	384,71	537,14	602,86	305,57	457,57	136,45	c
8	549,00	292,75	320,38	453,63	403,94	119,52	c
9	446,89	552,44	480,78	440,44	480,14	51,35	c
10	563,50	520,10	435,80	377,30	474,18	83,56	c

* Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents (0,01 %) - Test de Duncan.

TABLEAU III-23- Analyse de la variance pour les données du Tableau III-22

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	C.M.	F.	
Traitements	4.514.463,38	9	501.607,04	8,14	H.S.*
Erreur	1.847.626,65	30	61.587,56		
TOTAL	6.362.090,03	39			

* au 0,01%

- Conclusion -

D'après les Tableaux III-22 et III-23 et la Figure 8, il ressort qu'au niveau des densités 3 et 4 couples par boîte, on arrive à obtenir la plus grande efficacité dans la ponte par Mamestra brassicae .

Ceci complète donc l'information obtenue lors des comparaisons entre les différentes proportions mâle : femelle. On peut conseiller l'utilisation de 4 couples par boîte. Le confinement à densités plus élevées entraîne un rendement inférieur par femelle pour les raisons de surface ou de volume de ponte insuffisantes.

Le facteur phéromone que l'on a mentionné dans l'essai précédent, peut nous fournir une hypothèse d'explication au phénomène.

En effet, la littérature scientifique nous parle du rôle régulateur des phéromones dans l'accouplement (55). On fait aussi mention de certains seuils de concentration de la phéromone dans l'air qui doivent être respectés pour que l'accouplement et la ponte aient lieu normalement (27).

Des concentrations trop élevées de la phéromone pourraient être à la base d'un phénomène de dispersion de la population et de la ponte. Dans les conditions de confinement que nous avons travaillé, il est facile d'imaginer la différence dans la concentration de phéromone entre 1 ou 10 femelles confinées dans la même boîte. Ceci est donc une hypothèse qui reste à vérifier. Nos objectifs d'optimisation des élevages ont été , de notre part, accomplis.

IV - ASPECTS COMPORTEMENTAUX DES IMAGOS DE
MAMESTRA BRASSICAE L.

- LE COMPORTEMENT DES IMAGOS DE MAMESTRA BRASSICAE L.

1 - Stade nymphal , éclosion des imagos et comportement précopulatoire -

Lors d'une éclosion normale d'imago, on observe d'abord l'apparition d'une fente en forme de T au niveau de la région mésothoracique notale de la chrysalide (dorsulum) ; la ligne horizontale de la fente relie les deux vertex huméraux tandis que le trait vertical se prolonge souvent vers l'extrémité postérieure du scutellum dorsalement et ventralement vers le proboscis tout en contournant le sclérite antennal. C'est par l'ouverture ainsi formée que l'imago sortira, aidé dans ce processus par ses pattes antérieures et par les contractions de l'abdomen (Fig. 9).

L'émergence de l'imago prendra entre 10 minutes et une heure, en fonction des facteurs que nous allons développer ci-dessous.

a- Facteurs intervenant dans l'éclosion des imagos -

Ils sont de trois ordres principalement :

Héréditaire, environnemental et nutritif.

L'importance que l'on pourrait donner à chacun de ces facteurs dépend des conditions dans lesquelles le cycle de vie a lieu.

Pour ce qui concerne nos élevages, le facteur alimentaire a toujours été lié à la présence ou à l'absence de malformations chez les imagos, très souvent affectés dans leur capacité de se débarrasser plus ou moins rapidement de leur exuvie.

Nous n'avons pas réalisé des expériences visant l'étude de l'aspect héréditaire en relation avec l'émergence plus ou moins rapide des imagos ; il est vraisemblable cependant d'affirmer qu'un tel facteur serait peu important étant donné que sur plusieurs milliers d'individus élevés, la fréquence du phénomène était

accrue chez des individus en provenance de chenilles mal nourries, on peut donc songer à des facteurs liés au milieu ambiant et surtout aux conditions nutritives dans lesquelles les chenilles se sont développées. On ne peut pas exclure une cause de type héréditaire mais ceci sort du cadre de notre recherche. D'autres auteurs ont par contre, étudié l'influence de certains composants de la nourriture (34) (100) (71) et des réponses assez nettes nous permettent d'affirmer que ce facteur a été le responsable principal des émergences difficiles ou abortives.

En effet, des carences nutritives importantes, le manque d'acide ascorbique notamment (76) (108), arrivées accidentellement dans nos élevages, ont donné lieu à tout un éventail de malformations toujours associées à des émergences lentes ou impossibles des imagos.

On a aussi souvent associé l'apparition de surfaces aplaties chez des chrysalides avec des problèmes d'éclosion lente ou abortive. Ces chrysalides ayant été formées et restées en surfaces plates et rigides (le fond des boîtes d'élevage par exemple) donnent lieu assez souvent à des imagos anormaux. C'est pourquoi le type de support au fond des boîtes (sciure de bois) est important. On peut aussi songer à l'importance que peut avoir la structure du sol vis-à-vis de la formation normale des chrysalides. Des sols non durs pourront permettre la construction d'un abri (Voir Photos 9,6) moulé à leurs formes arrondies.

Deux situations se sont présentées lors des émergences anormales :

1- Eclosion impossible ou abortive :

Après l'apparition de la fente de sortie, l'imago reste collé à l'un des deux morceaux de l'exuvie, fréquemment au niveau de la suture métathorax-abdomen. La tête reste donc couverte et l'imago n'arrivera pas à sortir (Voir Photo 11).

- 2- Eclosion partielle ou totale donnant lieu dans la plupart des cas à des individus malformés, notamment avec des moignons alaires ou non fonctionnels ou bien à des adultes dont l'appareil buccal est atrophié (Voir Photo 11).

b- Durée de l'émergence des imagos -

Des observations ont été réalisées dans le but d'estimer le temps pris pour l'émergence des imagos en provenance de nos élevages mis en comparaison avec des imagos provenant des échantillons récoltés au stade de prépuces sur le terrain.

FIGURE 9 - Chrysalide de Mamestra brassicae - sclerites

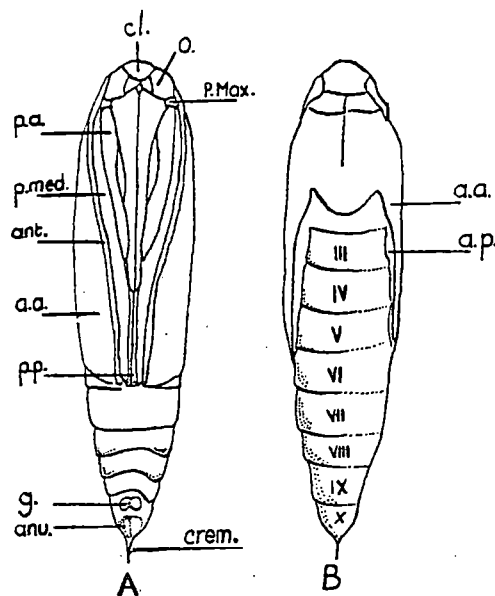
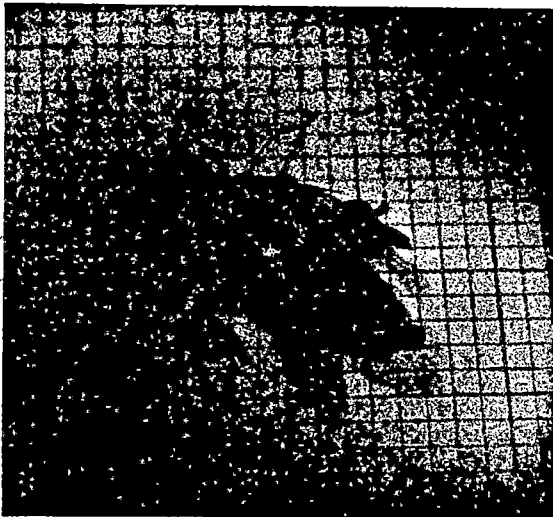
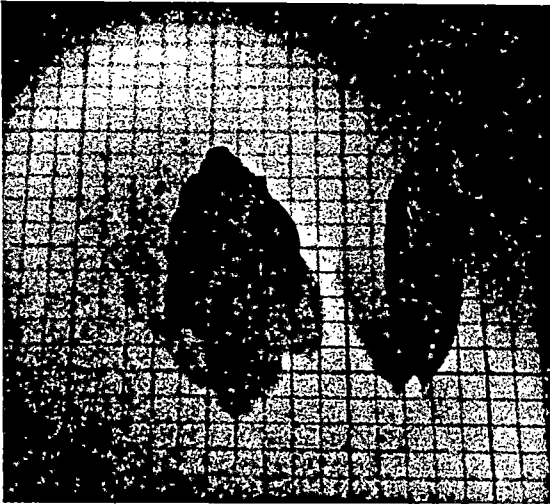


Figure 9 - Chrysalide tectée de Mamestra brassicae

A- Face ventrale ; B- Face dorsale ; a.a.- aile antérieure

ant, antenne ; anu, anus ; ap, aile postérieure ; cl, clypeus ; crem, crémaster ; g, orifice génital virtuel (mâle) ; p.a., patte antérieure ; p.med., patte médiane ; p.p., patte postérieure ; o, oeil .

(modifiée, d'après Grassé, 1951)



Ensemble de Photos 11 - Aspects sur l'éclosion des imagos
de Mamestra brassicae

- A- Imago venant d'éclore ; B- Eclosions abortives
C- Imago malformé ; D- Imago normal en train de se
nourrir

Les pupes ont été mises en observation à des intervalles de 5 minutes tout de suite après l'apparition de la fente d'émergence et jusqu'à la libération complète de chaque individu. Les conditions du laboratoire ont été de $22^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 70 % H.R. et Photopériode 16:8.

Les résultats de nos observations sont repris au Tableau IV-1 et la Figure 10 en a été déduite.

TABLEAU IV-1 - Temps pris pour l'émergence des imagos de deux souches de Mamestra brassicae L. et fréquence d'individus anormaux

Période en minutes	Souche Laboratoire F ₉				Souche sauvage F ₀			
	Nombre d'éclo-sions	%	Nombre d'anormaux	%	Nombre d'éclo-sions	%	Nombre d'anormaux	%
0 - 10	1	0,18			1	0,19		
10 - 15	4	0,76			5	0,95		
15 - 20	11	2,09			26	4,96		
20 - 25	18	3,42			33	6,30		
25 - 30	31	5,88			42	8,02		
30 - 35	49	9,30			65	12,4		
35 - 40	63	11,95			78	14,89		
40 - 45	89	16,89			87	16,60	1	0,19
45 - 50	81	15,37			69	13,17	7	1,34
50 - 55	70	13,28	2	0,38	60	11,45	11	2,10
55 - 60	52	9,87	3	0,57	40	7,63	14	2,67
60 - 65	38	7,21	8	1,52	4	0,76	28	5,34
65 - 70	14	2,66	10	1,90	1	0,19	20	3,82
70 - 75	5	0,95	10	1,90				
75 - 80	1	0,19	12	2,28				
TOTAUX	527		45	8,55	511		81	13,36

Poids $\bar{X}$ = 0,5448 gr.
des nymphes

Poids $\bar{X}$ = 0,5007 gr.
des nymphes

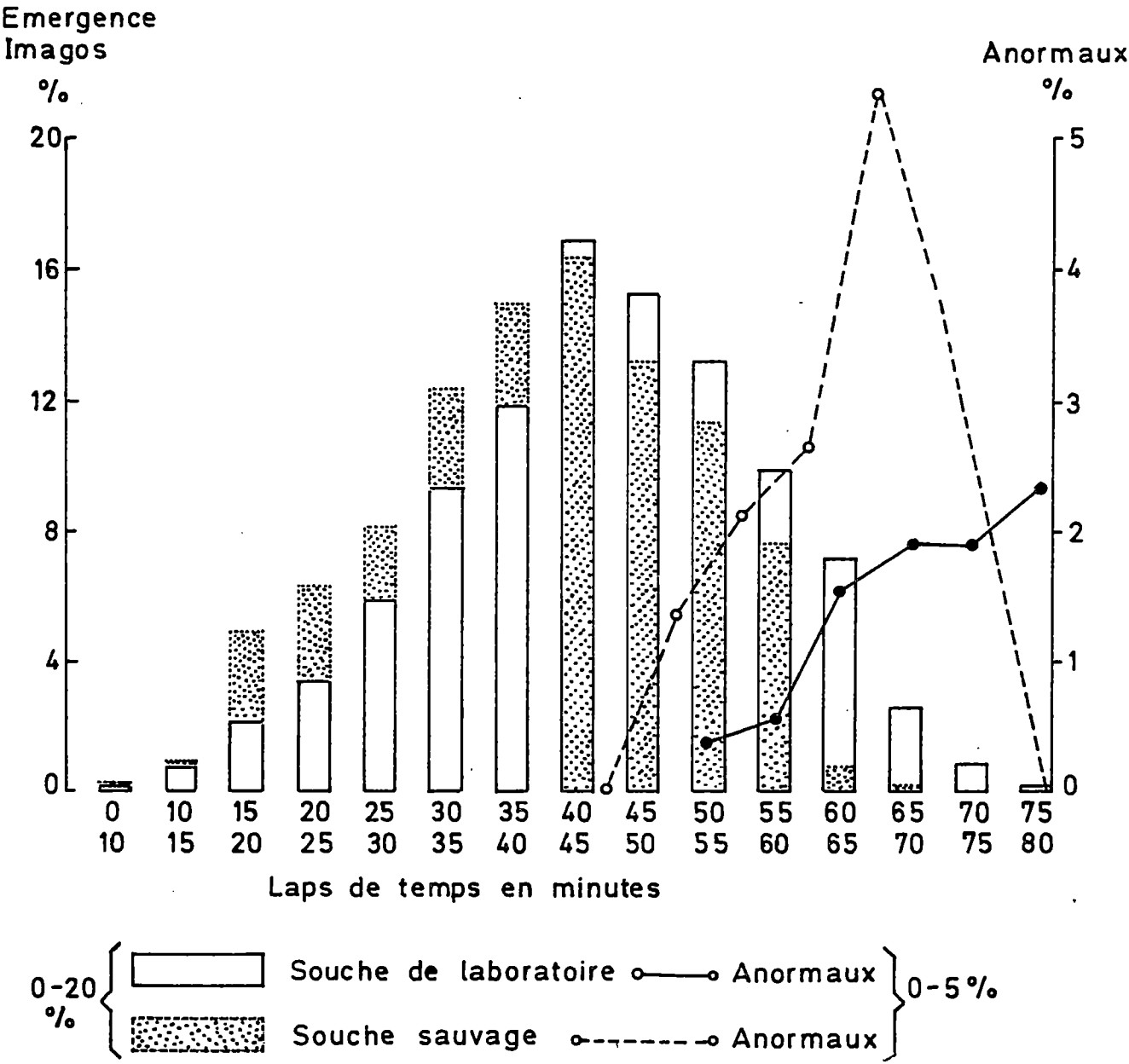


Figure 10 - Durée de l'éclosion des imagos de Mamestra brassicae (en minutes) d'après la souche, et pourcentage d'individus anormaux.

Au Tableau IV-1, nous constatons une fraction assez importante de l'échantillon étudié qui présente des malformations (13 %). Ceci peut nous indiquer que Mamestra brassicae est soumise à des conditions de sélection naturelle très sévères. On ne peut pas éliminer la possibilité d'un "stress" intervenu sur les chenilles lors de leur récolte, soit par des manipulations excessives ou simplement par cause du changement brutal du milieu. Notons d'autre part, que les individus utilisés dans cette partie de notre étude, ont été prélevés à partir d'une population de très haute densité, ce qui aurait pu jouer dans le pourcentage observé d'individus malformés (concurrence intra-spécifique).

Il est aussi intéressant de signaler la vigueur dans l'éclosion (plus rapide) chez la souche sauvage qui a toujours pris un temps plus court pour l'émergence, soit des individus normaux ou anormaux.

Nous pouvons, d'après les résultats du Tableau IV-1, fixer certains critères à retenir lors de la recherche d'individus sur le terrain en vue de l'établissement d'un élevage.

Les individus issus de notre souche de laboratoire nourris avec la nourriture semi-synthétique ont montré dans nos conditions, un comportement légèrement plus lent en ce qui concerne la durée du processus d'éclosion. D'autre part, il est apparu un nombre bien plus réduit d'individus malformés en comparaison avec ceux de la souche sauvage.

L'agilité dans l'éclosion des individus récoltés dans la nature est donc un contrepoids à la présence accrue des malformés.

Plusieurs explications peuvent être données. Il est d'abord normal de trouver des différences entre des souches élevées dans des milieux différents. Notre souche à sa génération F 10, est nécessairement formée par des individus fort adaptés à nos conditions, où les facteurs climatiques ont été choisis dans des limites

"idéales" et où la nourriture qui est offerte aux chenilles a été spécialement conçue pour répondre à tous les besoins de l'espèce.

Dans la nature, les chenilles sont confrontées à des situations extrêmes, ce qui entraîne une sélection naturelle de l'espèce mais avec une bien plus grande variabilité que celle trouvée dans le laboratoire. Des conditions éventuelles de températures basses ou trop élevées et une mauvaise qualité de la nourriture disponible vont nécessairement influencer les résultats observés lors de l'émergence des imagos.

La plus grande agilité des imagos de la souche naturelle surtout dans les premières minutes aurait la même explication. Ces résultats étaient donc attendus mais leur confirmation pour l'espèce nous permettra d'avancer dans nos travaux sur le comportement. C'est ainsi que la majorité de nos tests sur le comportement des imagos, a été suivi sur deux souches dans la mesure du possible, la souche de laboratoire et une souche sauvage.

Les mêmes commentaires pourraient être faits dans la comparaison des poids moyens chez les pupes des souches étudiées.

Période de repos : Une période de repos suit l'éclosion des imagos. Pendant cette période, d'une durée de 10 à 20 minutes, les ailes se sont entièrement dépliées et atteignent leur rigidité normale. L'excrétion du "meconium" et des vibrations des ailes marquent assez bien cette étape dans le processus de développement de l'adulte. Après cette pause, ils auront besoin de se nourrir.

c- Alimentation des imagos -

Les imagos de Mamestra brassicae, comme il est fréquent chez les Noctuidae, (29) (34) (35) ont besoin de se nourrir. Dans nos conditions d'élevage, une solution sucrée à 10 % dans l'eau distillée subviendra aux besoins d'énergie nécessaire pour la reproduction et une plus grande longévité (34).

Le papillon s'oriente vers la source alimentaire à l'aide des antennes qui vont percevoir la nourriture à distance (154) (218) (219), ce qui devient évident lors du rapprochement de l'imago de la source de nourriture ; les antennes tâtonnent et ensuite, on observe l'extension du proboscis (Voir Photo 11-D). La prise de nourriture a lieu plusieurs fois au cours de la journée, cependant, elle est plus fréquente pendant la période d'obscurité. D'autre part, elle est plus fréquente avant la période de ponte; néanmoins, il faut donner de la nourriture pendant toute la durée de vie imaginale.

d- Conditions de la lumière dans l'étude du comportement imaginal -

Les adultes ont une activité nocturne; la journée, ils restent au repos. Cela peut se remarquer par le comportement lucifuge (Voir Photo 13) typique des imagos qui ont tendance à présenter leur extrémité caudale vers la source de lumière. Pendant la période d'obscurité, ils peuvent être attirés par des sources de lumière. C'est pourquoi, pour la réalisation de nos observations, l'éclairage n'a pas dépassé 3 lux. (143).

Des travaux menés en France et aux Etats-Unis d'Amérique (55) (318) font preuve de l'effet de "thermostat" que la lumière a sur le comportement des imagos de certains Noctuidae.

Afin de mieux respecter les conditions naturelles, nous avons aussi établi une période d'acrophase et une de scotophase d'une heure chacune.

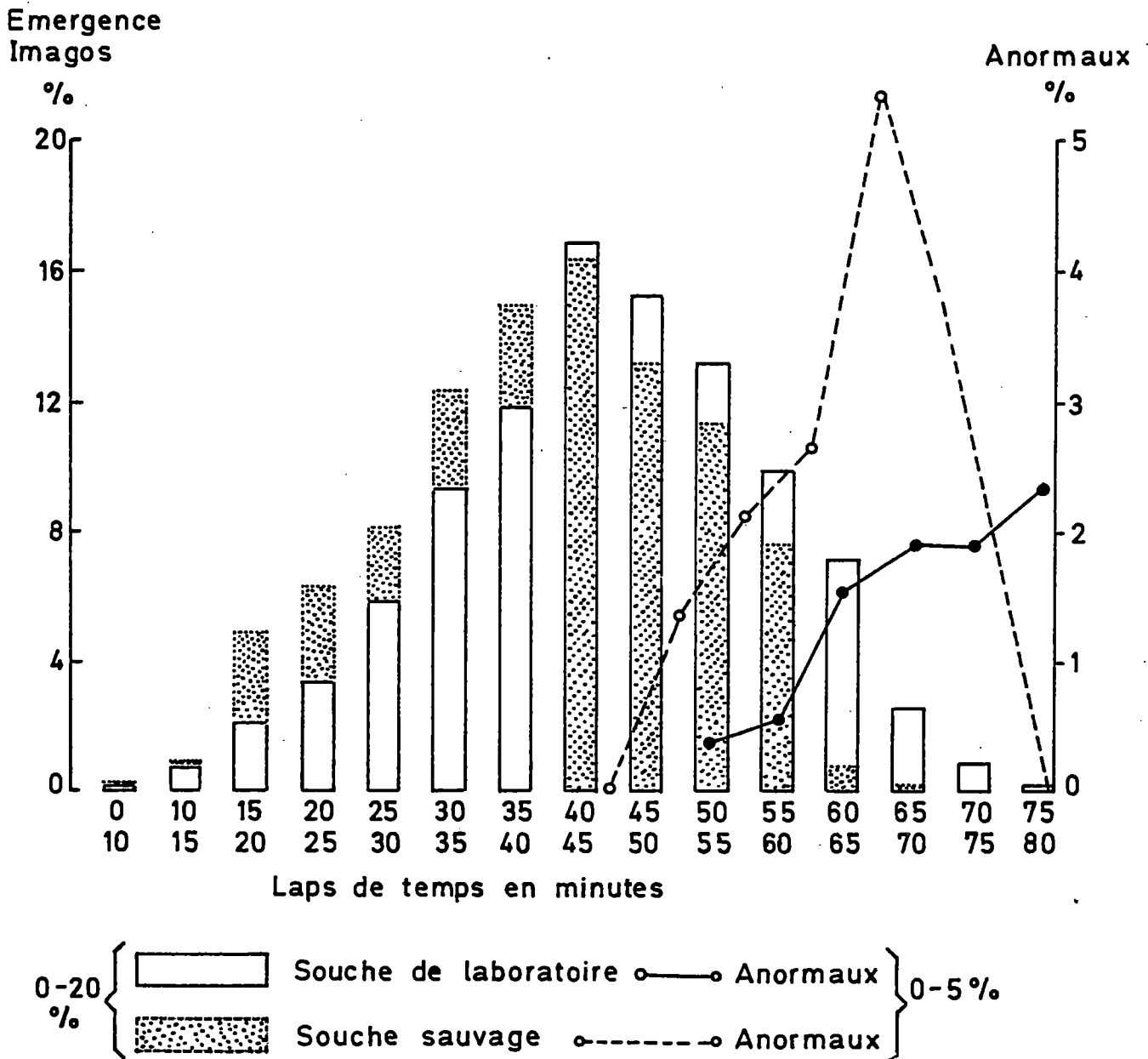


Figure 10 - Durée de l'éclosion des imagos de Mamestra brassicae (en minutes) d'après la souche, et pourcentage d'individus anormaux.



Photo 12 - Imagos de Mamestra brassicae en train de s'accoupler - Femelle à gauche.



Photo 13 - Comportement lucifugue des imagos de Mamestra brassicae L. en laboratoire.

2 - Le comportement d'appel des femelles et celui de réponse des mâles de Mamestra brassicae L. en laboratoire -

a- Comportement d'appel chez les femelles - .

Le comportement de parade (courtship behaviour) fréquent chez les insectes (23) (55) (295) a des traits bien définis chez les femelles de Mamestra brassicae chez qui nous avons suivi ce comportement sur plus de 500 individus.

Une fois que la femelle est âgée de plus de 48 heures, une séquence comportementale se fait évidente, comprenant trois étapes au moins : ventilation, déplacements et repos.

La Figure 11 et les photos illustrent nos observations. D'abord, en partant de la position REPOS, le corps de la femelle se trouve près du sol, les pattes contractées, les ailes couvrent l'abdomen en formant un angle aigu sur le dorsum. Les antennes vers l'arrière collées tout au long des ailes.

Nous observons ensuite une position que nous appellerons "d'alerte" dans laquelle les antennes sont dépliées vers l'avant en forme de "V", les bordures angles des ailes sont écartées légèrement en laissant au découvert les derniers segments abdominaux, qui sont légèrement redressés. Les pattes ne sont pas courbées et le corps est donc soulevé de la surface du support. Tout cela se présente avec un mouvement vibratoire vertical des ailes. La durée de la période de ventilation est de 2-3 minutes chez les femelles matures, et un peu plus courte chez des jeunes femelles, cela se passe avec des intervalles de 1 à 5 minutes. Ce comportement est nettement nocturne chez les individus récoltés dans la nature comme nous le verrons plus tard. Ce comportement ne cessera qu'avec l'accouplement qui peut avoir lieu tout de suite après l'appel.

A l'étape de ventilation, suit une phase de déplacement qui est aussi typique. En effet, la femelle se déplace en agitant ses ailes en position quasi verticale par rapport à l'axe longitudinal du corps ; il ne s'agit pas d'un vol mais d'une sorte de "danse". Si un mâle n'est pas présent lors de ce comportement, une période de repos sera suivie après l'appel et ainsi de suite pendant cette période nocturne.

b- Comportement de réponse chez les mâles de *Mamestra brassicae* -

Une fois que le comportement d'appel se déclare chez les femelles, les mâles matures répondent aussitôt avec un comportement typique.

D'abord, les antennes en position d'alerte et les ailes en position parallèle à la surface du sol. On observe aussi un léger écartement des ailes antérieures tout au long de la bordure anale. Nous avons remarqué ici un mouvement beaucoup plus fréquent chez les mâles que chez les femelles qui consiste en un déplacement très rapide des ailes dans le sens latéral, ce qui indiquerait la possibilité de l'existence de glandules de phéromones dans les ailes des mâles de *Mamestra brassicae*, fait signalé chez d'autres espèces (55) (101).

Le même type de danse que celui observé chez les femelles se présente et des mouvements vibratoires des antennes sont dirigés vers la femelle. L'ensemble de ces activités se passe dans l'ordre décrit et pendant des périodes assez courtes de 20 à 30 secondes.

Mécanisme de l'accouplement.

L'étape suivante est l'envol vers la femelle dont il s'approche latéralement en battant ses ailes. Une fois que les abdomens se trouvent l'un à côté de l'autre, le mâle, paramères écartés (Voir Figure-12)(les paramères jouent le rôle de guide dans le processus mécanique d'accouplement) va s'accrocher

parfaitement sur deux sclérites situés au niveau du 9ème segment abdominal de la femelle (Voir Figure 1). Ensuite, le mâle se retourne en posant son corps dans le sens tout à fait opposé à celui de la femelle, les abdomens resteront liés et par des mouvements de la femelle qui passeront sur une structure du mâle qui se situe sur la plaque basale de l'edeagus (Voir Figure 2) font agir de manière mécanique l'edeagus lui-même qui pénétrera dans le canal copulateur.

Dans le chapitre consacré à l'étude du comportement d'appel, nous verrons comment l'accouplement a lieu tout de suite après le déclenchement du comportement d'appel des femelles si elles sont en présence d'un mâle mûr.

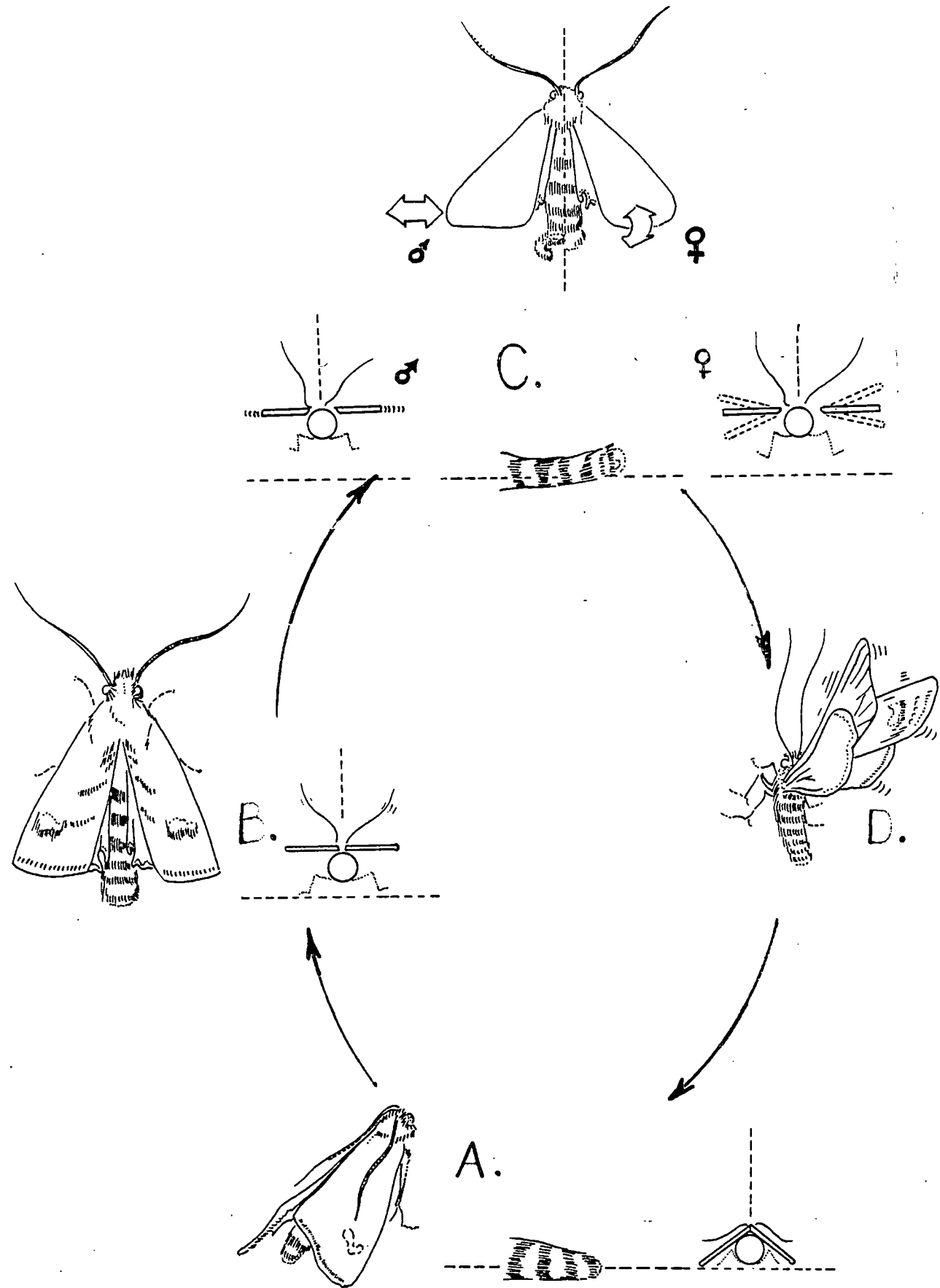


Figure 11 - Séquence de comportements typiques précopulatoires chez *Mamestra brassicae*

A. Repos.
B. Alerte

C. Ventilation ou appel
D. Parade.

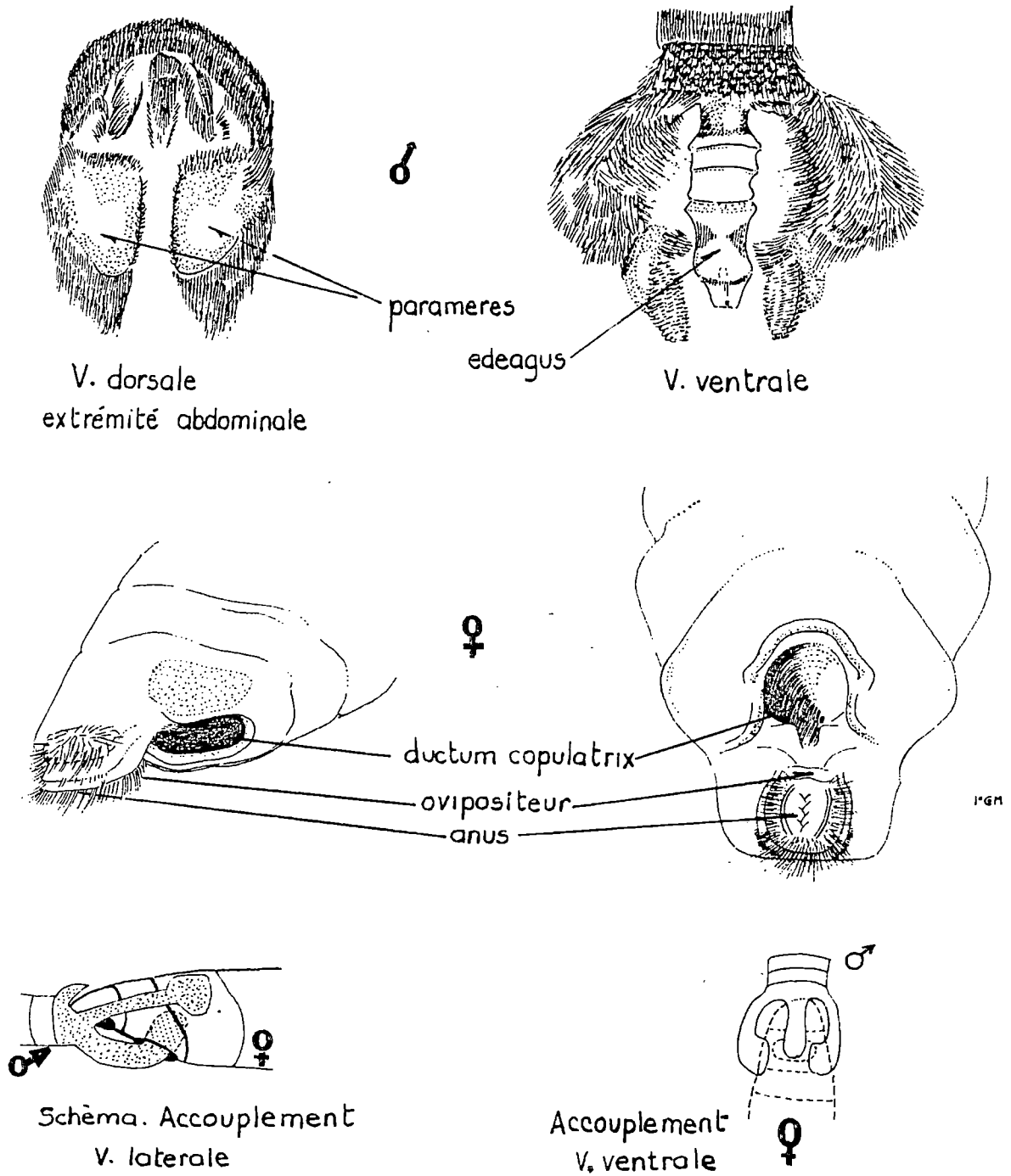
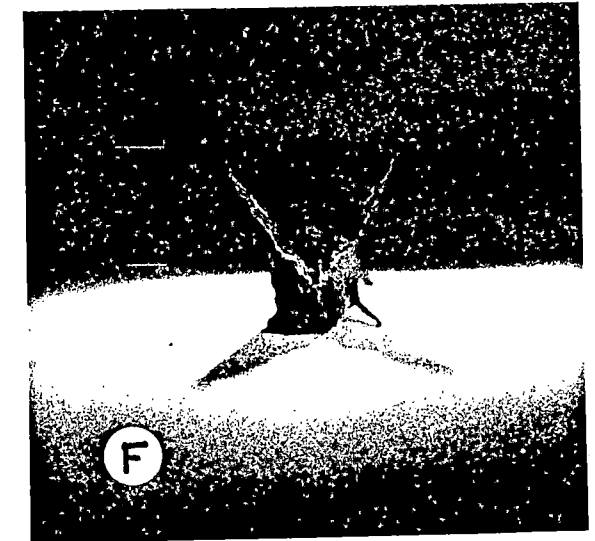
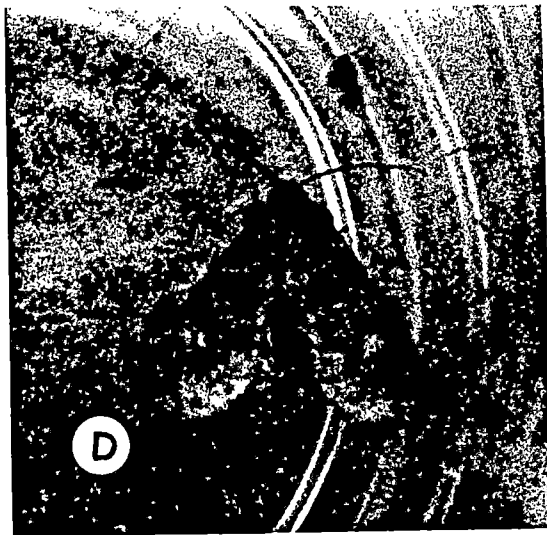
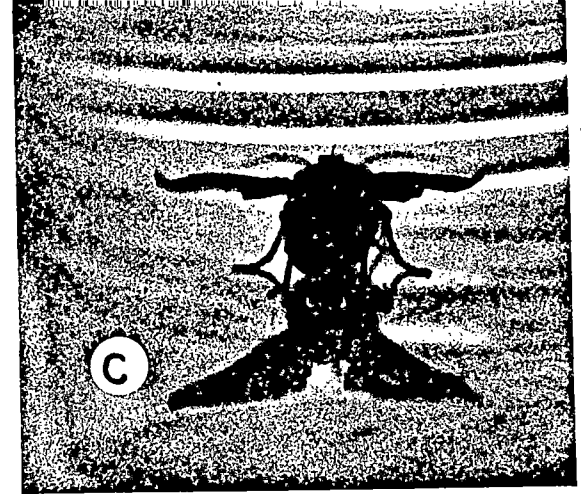
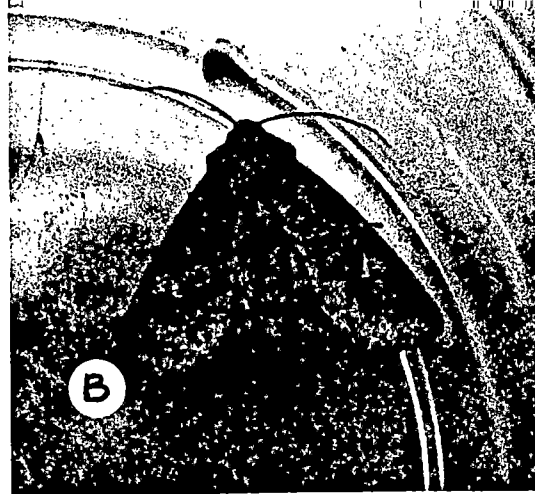


Figure 12 - A- Morphologie des appareils génitaux de Mamestra brassicae

B- et schémas de l'accouplement



Ensemble de photos 14 - Séquence montrant les différents aspects de la précopulation
chez Mamestra brassicae.

A- Repos ; B- Alerte, écartement des ailes ; C- Alerte, bien remarquer la position
des pattes, ailes et antennes ; D- Mouvements vibratoires des ailes "appel" ;
E- Danse ou "running" ; F- Danse

3 - Etude et détermination de la période d'accouplement de Mamestra brassicae -

D'après nos observations (82) et les références de la littérature (76) (77) (18), les imagos ne sont pas capables de s'accoupler avant une certaine période, vraisemblablement différente pour le mâle et la femelle et qui s'étale entre les 24 et 72 heures de vie imaginale, cela en fonction de l'origine de la souche, du milieu, etc...

La température joue un rôle important dans le développement chez les Noctuidae (32) (33) ; des températures entre 10° et 24°C favorisent un développement normal tandis qu'en dehors de ces limites, le développement se fait très difficilement. Le froid ou la chaleur excessifs entraînent des phénomènes de mortalité ou diminuent la fécondité des souches.

La photopériode ne paraît pas influencer de manière directe la vitesse de maturation des imagos, mais par contre, elle joue un rôle très important pour le déclenchement des mécanismes biochimiques qui agiront sur l'apparition des comportements de parade et d'accouplement (166) (55).

En général, nous pensons que l'accouplement a lieu quand les individus sont mûrs ou près de leur maturité. A part des techniques de dissection (81), la seule confirmation possible de cette maturité dans la pratique est la production de pontes fertiles. Nous avons d'abord étudié les âges à partir desquels l'accouplement a lieu en vérifiant chaque fois la fécondité de la ponte qui suit.

Nous avons essayé d'établir un modèle comportemental des imagos, d'après leur âge et en fonction de la photopériode, afin de pouvoir y établir l'impact de la pulvérisation d'une solution à concentration commerciale de Bacillus Thuringiensis B.

Pour arriver à notre but, nous avons suivi plusieurs étapes. D'abord, il fallait déterminer l'âge à partir duquel les individus peuvent s'accoupler, ensuite, la fonction de la photopériode dans

dans le déclenchement du phénomène d'accouplement.

4 - Détermination de l'âge d'accouplement pour les mâles
et les femelles, de Mamestra brassicae en laboratoire -

Dans cette expérimentation, nous avons établi deux groupes. Un premier groupe comprend des individus récoltés dans la nature et un deuxième, des imagos issus de nos élevages. Les individus récoltés dans la nature ont été prélevés au stade L6. C'est donc l'âge à partir de l'éclosion de l'imago que nous avons pris comme référence pour établir les groupes et sous-groupes d'âges. Dans chaque groupe, deux sous-groupes ont été formés ; le premier pour étudier les mâles et le deuxième pour les femelles.

Pour mieux déterminer l'âge à partir duquel les individus se montraient capables de s'accoupler, chaque sous-groupe comportait huit classes d'âge différent : 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 et 72 heures.

On a utilisé 10 individus par classe d'âge et trois répétitions ont été faites par souche et par sexe. Chaque couple en observation était confiné dans une boîte à fermeture hermétique et des observations y ont été réalisées une fois par heure pendant six heures, afin de couvrir le temps nécessaire pour que chaque individu atteigne la classe d'âge suivante.

Le Tableau IV-2 explique l'ensemble de la distribution de nos traitements.

TABLEAU IV-2 Distribution des souches pour l'observation
des âges d'accouplement dans chaque sexe chez
Mamestra brassicae

GROUPE	SOUS GROUPES			
	Nombre de classes d'âges utilisées (10 individus par classe)			
	♂	Q [*]	♂	Q [*]
1- Souche de laboratoire	8	1	8	1
	8	1	8	1
	8	1	8	1
2- Souche de terrain	8	1	8	1
	8	1	8	1
	8	1	8	1
* Imagos vierges âgés de plus de 72 heures				

Le critère retenu pour accepter comme positive la réponse d'un imago vis-à-vis de son partenaire a été la présence d'individus accouplés pendant une durée supérieure à cinq minutes, et ceci, d'après une expérience préalable dans laquelle nous avons mis en observation 50 couples mârs et vierges, que l'on a pu séparer en 4 groupes en interrompant l'accouplement :
Groupement s'accouplant pendant 5 minutes ou moins, 5 à 10 minutes
10 à 20 et 20 minutes au moins. La ponte observée a été suivie jusqu'à l'éclosion des chenilles. Aucune ponte n'a été fertile dans le premier groupe.

Les résultats de nos observations sur les deux souches de Mamestra brassicae ont été soumis à l'analyse par la méthode de Probits de FINEY pour calculer l'âge moyen (50 %) en heures, des individus étudiés . Tableau IV-4 bis.

- Résultats -

Les Tableaux IV-3 et IV-4 montrent l'ensemble de nos observations et les Figures 13,14 et 15 en ont été déduites . Le Tableau IV-4 bis nous permet le calcul du temps d'accouplement 50 % d'après l'âge.

D'après les tableaux et figures mentionnés, il apparaît que dans aucun cas, ni les mâles ni les femelles des deux souches ne se sont accouplés avant 30 heures. De même, à partir de 60 heures, tous les individus ont été capables de s'accoupler. Dans cette fourchette (30-60), quelques variations d'après le sexe et la provenance de la souche sont à signaler.

TABLEAU IV-3 - Evolution de la maturité des mâles de Mamestra brassicae L. d'après le pourcentage d'accouplement par classe d'âge en laboratoire

	Age des mâles (heures)	Souche de Laboratoire			Souche de Terrain		
		Nombre de couples	Accouplements		Nombre de couples	Accouplements	
			Total	%		Total	%
I	24	10	0	0	12	0	0
	30	10	0	0	10	0	0
	36	10	0	0	12	1	8
	42	10	1	10	14	2	14
	48	10	8	80	13	10	77
	54	10	9	90	20	19	95
	60	10	10	100	10	10	100
	72	10	10	100	10	10	100
II	24	10	0	0	10	0	0
	30	10	0	0	10	0	0
	36	10	0	0	9	0	0
	42	10	2	20	12	4	33
	48	10	7	70	12	9	75
	54	10	9	90	14	12	86
	60	10	10	100	10	10	100
	72	10	10	100	14	14	100
III	24	10	0	0	10	0	0
	30	10	0	0	10	0	0
	36	10	0	0	12	1	8
	42	10	1	10	10	4	40
	48	10	6	60	9	7	78
	54	10	9	90	11	10	91
	60	10	10	100	12	12	100
	72	10	10	100	12	12	100

TABLEAU IV-4 - Evolution de la maturité des femelles de Mamestra brassicae d'après le pourcentage d'accouplement par classe d'âge en laboratoire

Age des femelles (heures)	Souche de Laboratoire			Souche de Terrain		
	Nombre de couples	Accouplements		Nombre de couples	Accouplements	
		Total	%		Total	%
24	10	0	0	10	0	0
30	10	0	0	8	0	0
36	10	0	0	12	1	8
42	10	1	10	12	3	25
48	10	2	20	15	5	33
54	10	8	80	10	9	90
60	10	10	100	12	12	100
72	10	10	100	10	10	100
24	10	0	0	10	0	0
30	10	0	0	11	0	0
36	10	0	0	11	2	18
42	10	1	10	10	4	40
48	10	3	30	10	5	50
54	10	9	90	12	11	92
60	10	10	100	9	9	100
72	10	10	100	12	12	100
24	10	0	0	10	0	0
30	10	0	0	12	0	0
36	10	0	0	14	3	21
42	10	2	20	10	4	40
48	10	4	40	10	6	60
54	10	7	70	11	9	82
60	10	10	100	12	12	100
72	10	10	100	12	12	100

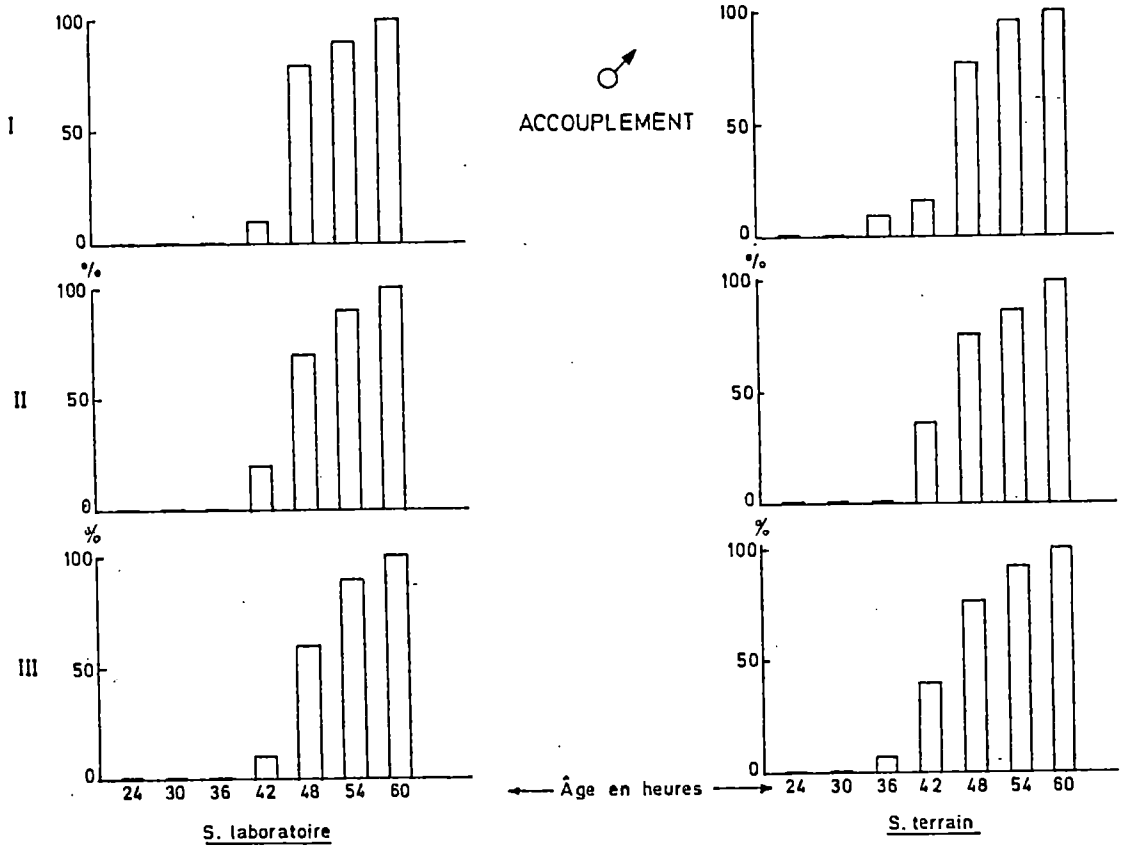


Figure 13 - Pourcentage d'accouplement des mâles de *Mamestra brassicae* d'après l'âge (heures)

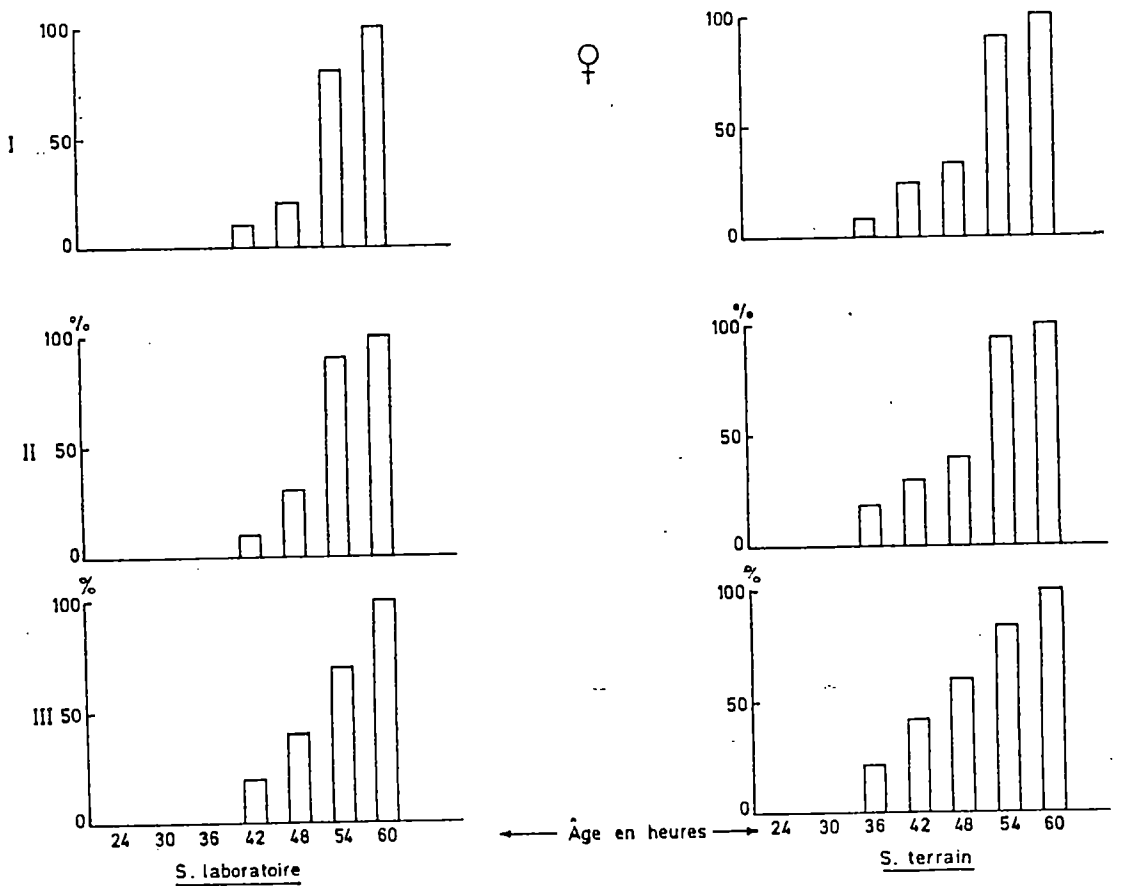


Figure 14 - Pourcentage d'accouplement des femelles de *Mamestra brassicae* L. d'après l'âge (heures)

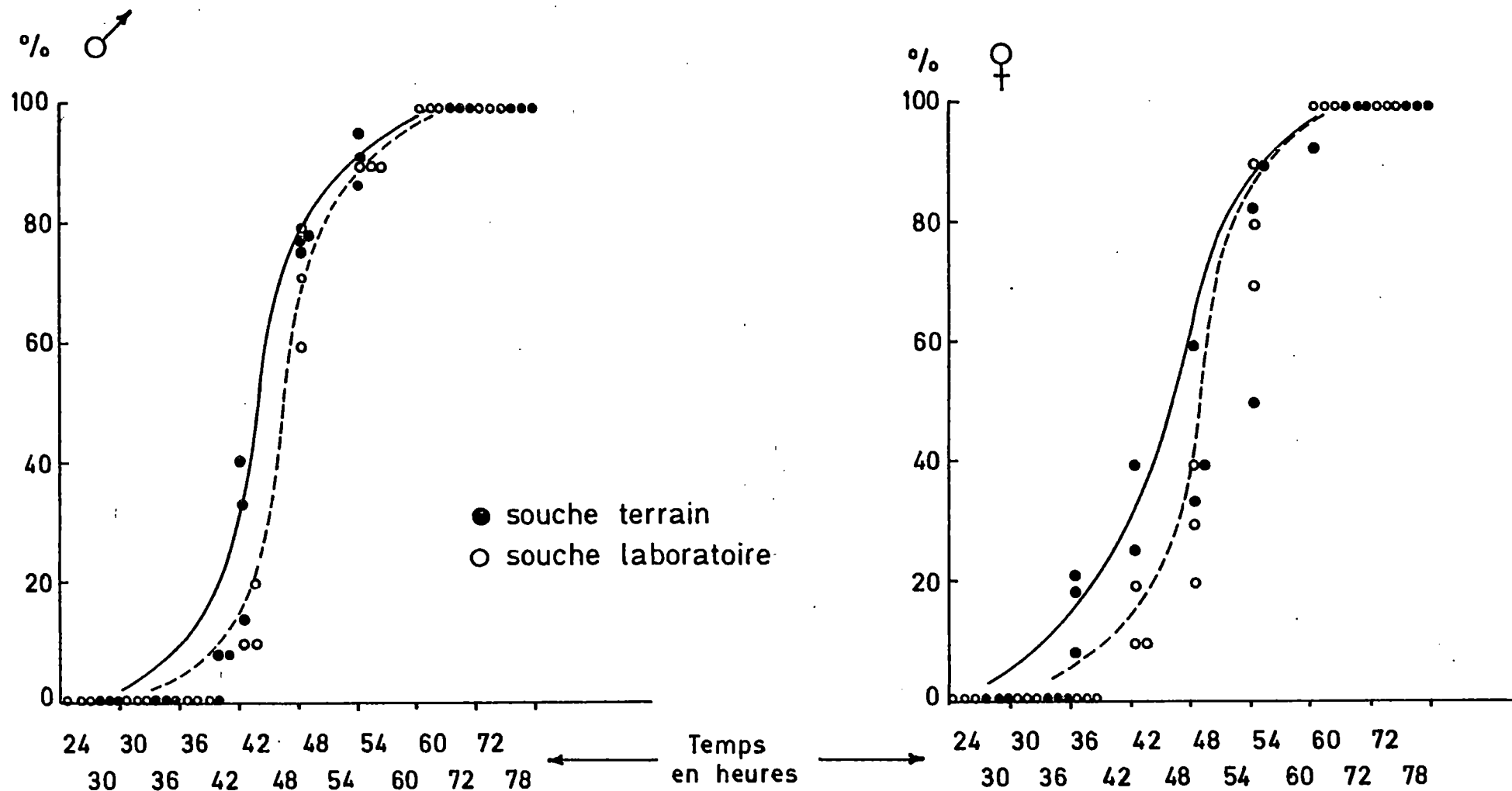


Fig.15 : Pourcentage d'accouplements par classe d'âge chez M. brassicae. L.

Au vu des histogrammes, Figures 13 et 14 , il semblerait que la souche sauvage a une supériorité sur la souche de laboratoire. En effet, on observe un certain pourcentage d'individus qui s'accouplent entre 30 et 36 heures aussi bien chez les mâles que chez les femelles.

D'autre part, en ce qui concerne l'âge limite supérieure pour l'accouplement de Mamestra brassicae, il se peut que 60 heures (voir histogrammes) soit un seuil à partir duquel pour des raisons que nous ne connaissons pas, les mâles et les femelles doivent être prêts à s'accoupler. Il y a là aussi la possibilité que notre éventail du temps entre chaque observation (6 heures par intervalle) soit trop large et il faudrait peut-être affiner le test pour faire des observations toutes les 2 ou 3 heures par exemple. Le seul inconvénient reste le nombre élevé d'individus nécessaires pour un test pareil, étant donné qu'il faut une synchronisation des éclosions pour pouvoir travailler avec des classes d'âge connues.

Cependant, nous estimons que du point de vue pratique, l'information déjà obtenue est suffisante. L'affinement de la méthode doit s'imposer s' il s'agit d'étudier la physiologie du phénomène.

Finalement, par la méthode d'analyse de Probits FINNEY (90), on a estimé le temps moyen à partir duquel les 50 % de la population peuvent s'accoupler (Ac. 50).

Les résultats de cette analyse sont au Tableau IV-4 bis. Au vu de ce tableau, il ressort que le coefficient de régression dans les équations, donne une précocité supérieure aux individus issus de notre élevage

b = 13,59	b = 10,6	Souche laboratoire
b = 11,21	b = 9,22	Souche sauvage

ce qui s'exprime mieux par les valeurs A.c.50 dans le même Tableau IV-4 bis.

TABLEAU IV-4 bis - Données pour le calcul de l'âge d'accouplement chez Mamestra brassicae par la méthode de Probits

Souche et Sexe	Classe d'âge Log.	% d'accouplement PROBIT	Equation de régression et (Ac. 50) *
Mâles Laboratoire	1,62	3,8877	$y = -17,1 + 13,59x$
	1,68	5,524	
	1,63	6,2816	Ac. 50 = 42,66h.
Mâles Souche Sauvage	1,56	3,3836	$y = -13,66 + 11,21x$
	1,68	4,4466	
	1,63	5,7290	Ac. 50 = 45,71h
	1,78	6,3223	
Femelles Laboratoire	1,68	3,8877	$y = -13,24 + 10,6x$
	1,63	4,4756	
	1,78	5,8416	Ac. 50 = 52,48h
Femelles Souche Sauvage	1,56	3,989	$y = -10,4 + 9,22x$
	1,68	4,6147	
	1,63	4,9423	Ac. 50 = 46,77h
	1,78	6,1750	

*Temps nécessaire (heures) pour avoir 50 % d'accouplements dans la population étudiée.

Il faut cependant signaler que d'après les tableaux IV-3 et IV-4, aucun mâle du laboratoire n'a donné une réponse positive à l'accouplement entre 36 et 42 heures; par contre dans la souche du terrain, 2 individus sur 36 observés ont copulé dans la même période.

Le même commentaire est valable pour les femelles ; celles de notre élevage n'ont pas donné de réponse avant 42 heures; celles récoltées sur le terrain par contre, ont répondu positivement, 6 sur 37 pendant la période de 36 à 42 heures d'âge.

Ces deux observations vont à l'encontre des résultats de l'analyse de FINNEY où il apparaît que la souche du laboratoire est plus précoce si l'on compare les coefficients de régression dans les équations calculées.

On peut résoudre cette question, si l'on accepte la plus grande variabilité de la souche sauvage (individus précoces et non précoces) et l'homogénéité de la souche du laboratoire (poids, nourriture) obtenue à travers plusieurs générations.

On peut de toutes façons, conclure en disant que Mamestra brassicae montre un comportement d'accouplement qui suit un modèle en fonction du temps et que le début de la période d'accouplement s'étale entre 30 et 60 heures d'âge des imagos.

D'autre part, la méthode de FINNEY nous permet d'estimer la valeur de l'A.c. 50 (42-52h) qui semble utile aussi pour évaluer la qualité dans la précocité d'une souche de Mamestra brassicae et aussi pour étudier l'impact des différents facteurs intervenant dans des élevages de laboratoire.

C'est sur base de l'information obtenue ici que nous allons pouvoir étudier en détail le comportement d'accouplement de Mamestra brassicae en fonction du temps et de la photopériode.

5 - Etudes sur l'accouplement de Mamestra brassicae L.
 en fonction du temps, de la capacité copulatoire et
 de l'intervention du Bacillus thuringiensis en
 laboratoire -

a- Etude du comportement d'appel des femelles de Mamestra brassicae L. en fonction du temps -

SZENTENSI et al. en 1975, cité par HIRAI en 1977 (117) fut le premier à suggérer l'existence d'une phéromone chez Mamestra brassicae. ANDO en 1977, cité par le même auteur (117) a réalisé des "screening" destinés à comparer l'efficacité de substances synthétiques pour l'attraction de Mamestra brassicae dans des pièges. C'est récemment que HIRAI (117) a décrit une technique permettant d'identifier et d'isoler la phéromone de Mamestra brassicae le (Z) - 11 - hexadecenyl acétate . Cependant, la littérature ne fournit aucune référence sur le comportement sexuel de Mamestra brassicae L. , ce qui pourrait nous permettre de mieux viser les points faibles de l'espèce, en vue d'interférer dans leur reproduction.

Après nos observations sur tel comportement d'appel chez les femelles et celui de la réponse des mâles, il fallait en plus de l'explication purement mécanique du phénomène, essayer de connaître l'évolution de ce comportement au long de la journée. Toute la technique visant à agir sur ces comportements demande la connaissance du moment précis pendant lequel l'appel et l'accouplement ont lieu.

- Méthode -

Dans des conditions de laboratoire fixées à $22^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de température, à 70 % d'humidité relative et une photopériode de 16 heures, avec une interphase lumière-obscurité d'une heure, nous avons suivi le comportement de 75 femelles mures (âgées donc de plus de 48 heures) placées isolées dans des boîtes en polystyrène (Photo 7-C) contenant une source de nourriture (solution sucrée 10 % plus vitamines 1 %). Etant donné les habitudes

nocturnes des imagos, nous avons travaillé dans une chambre climatisée dont la photopériode a été réglée de manière à suivre pendant la journée le cycle nocturne des papillons. L'éclairage d'une lampe de sécurité Ilford-Safe Red Light^R a été utilisé pour ne pas perturber le comportement des noctuelles. Une petite lampe de poche à batteries, opacifiée à l'aide du papier Kleenex^R nous a permis de mieux préciser nos observations sans devoir éclairer toute la chambre dont l'éclairage ne dépassait pas 3 lux d'intensité pendant nos travaux.

b- Impact du Bacillus thuringiensis sur le comportement d'appel de Mamestra brassicae L.

Pendant le même temps, on a voulu étudier la faible possibilité d'une interférence du comportement d'appel des imagos par Bacillus thuringiensis, cela aussi pour profiter du dispositif décrit au paragraphe précédent.

C'est ainsi que trois groupes d'individus ont été établis comportant 25, 25 et 20 femelles, afin d'y étudier l'effet d'une préparation de Bacillus thuringiensis d'origine commerciale Bactospeine[®] (Batch 1255 - R.205) en solution à une concentration de 0,5 % p.c., pulvérisé dans les boîtes contenant les femelles à l'aide d'une pompe manuelle électrique du type Spray-matic[®]. Un "blanc" pulvérisé à l'eau distillée et un témoin (sans traitement) ont été aussi établis.

Au Tableau IV-5, nous avons un résumé de nos traitements et leur distribution.

TABLEAU IV-5 Distribution des souches et conditions des traitements dans l'étude du comportement d'appel de Mamestra brassicae au long de la journée

	Nombre de femelles	Traitements		
		H ₂ O	<u>Bacillus thuringiensis</u>	Témoin abs.
Souche de Laboratoire	25	+	+	+
	25	+	+	+
	25	+	+	+
Souche Sauvage	25	+	+	+
	25	+	+	+
	25	+	+	+

Chaque groupe⁺ de femelles a été suivi pendant trois jours de suite et les traitements ont été pulvérisés au début de la période nocturne de chaque jour.

- Résultats -

Les Tableaux IV-6 et IV-7 reprennent les résultats observés sur la souche sauvage ; la réponse de la souche de laboratoire étant très aléatoire, n'est pas reprise.

La Figure 16 est un résumé de nos observations et l'étude des pourcentages d'activité d'appel (sur le total des femelles étudiées par traitement) ou de réponse des mâles, nous permettent de constater qu'il existe bien une période de plus grande activité chez les femelles laquelle se déclare vers le début de la phase nocturne. Ce résultat était attendu même si la littérature ne nous fournit pas d'information pour l'espèce étudiée. L'activité plus grande se situe entre 20 et 22 heures, puis elle décline et pendant la journée, elle est très basse ou presque nulle.

Si nous comparons d'autre part, les réponses des trois traitements, nous ne sommes pas en mesure d'établir des différences bien précises. Selon nos observations, les individus arrêtaient leur comportement lors des pulvérisations mais quelques minutes après, ils reprenaient leur activité. Ce qui nous confirme, comme il était prévu, que les imagos ne sont pas affectés par Bacillus thuringiensis dans leur comportement. Leur santé et leur longévité n'ont pas été non plus modifiées.

Quant aux résultats aléatoires de la souche de laboratoire non repris dans notre texte, nous pensons que cela a pu être le résultat d'avoir inversé le cycle photopériodique pour la réalisation de nos observations, mais aussi à l'indépendance possible de la photopériode après plusieurs générations d'élevage en laboratoire. Ceci est un aspect qui reste à être vérifié.

TABLEAU IV-6 - Comportement d'appel des femelles de Mamestra brassicae en laboratoire d'après la phase lumière, obscurité - Souche sauvage , Climat C*

Période en heures	BLANC		BACILLUS THURINGIENSIS		TEMOIN H ₂ O DISTILLÉE	
	Nb.tot. 25	%	Nb.tot. 20	%	Nb.tot. 20	%
de à						
18 - 19	21	84	16	80	17	95
19 - 20	24	96	19	95	19	95
20 - 21	19	76	19	95	20	100
21 - 22	23	92	12	60	19	95
22 - 23	23	92	12	60	13	65
23 - 24	20	80	8	40	4	20
24 - 1	8	32	3	15	-	-
1 - 2	-	-	7	35	2	10
2 - 3	2	8	1	5	2	10
3 - 4	10	40	2	10	3	15
4 - 5	2	8	4	20	3	15
5 - 6	8	32	2	10	1	5
6 - 7	4	16	6	30	3	15
7 - 8	2	8	1	5	2	10
8 - 9	3	12	3	15	3	15
9 - 10	5	20	1	5	3	15
10 - 11	2	8	4	20	1	5
11 - 12	3	12	4	20	1	5
12 - 13	2	8	1	5	4	20
13 - 14	4	16	4	20	1	5
14 - 15	3	12	-	-	2	10
15 - 16	7	28	3	15	2	10
16 - 17	6	24	1	5	-	-
17 - 18	7	28	5	25	5	25
18 - 19	14	56	12	60	11	55
19 - 20	19	76	18	90	18	90
20 - 21	24	96	19	95	19	95
21 - 22	23	92	15	75	19	95
22 - 23	14	56	13	65	11	55
23 - 24	7	28	6	30	3	15
24 - 1	2	8	4	20	2	10
1 - 2	2	8	-	-	1	5
2 - 3	4	16	2	10	2	10
3 - 4	6	24	2	10	3	15
4 - 5	1	4	2	10	2	10
5 - 6	1	4	2	10	2	10
6 - 7	3	12	4	20	4	20
7 - 8	1	4	3	15	3	15
8 - 9	3	12	1	5	2	10
9 - 10	3	12	6	30	2	10
10 - 11	2	8	1	5	3	15
11 - 12	4	16	3	15	1	5
12 - 13	3	12	2	10	3	15
13 - 14	3	12	2	10	4	20
14 - 15	3	12	3	15	2	10
15 - 16	4	16	1	5	1	5
16 - 17	10	40	3	15	4	20
17 - 18	5	20	10	50	10	50
18 - 19	13	52	16	80	15	75
19 - 20	22	88	18	90	18	90

* Voir Tableau III-5

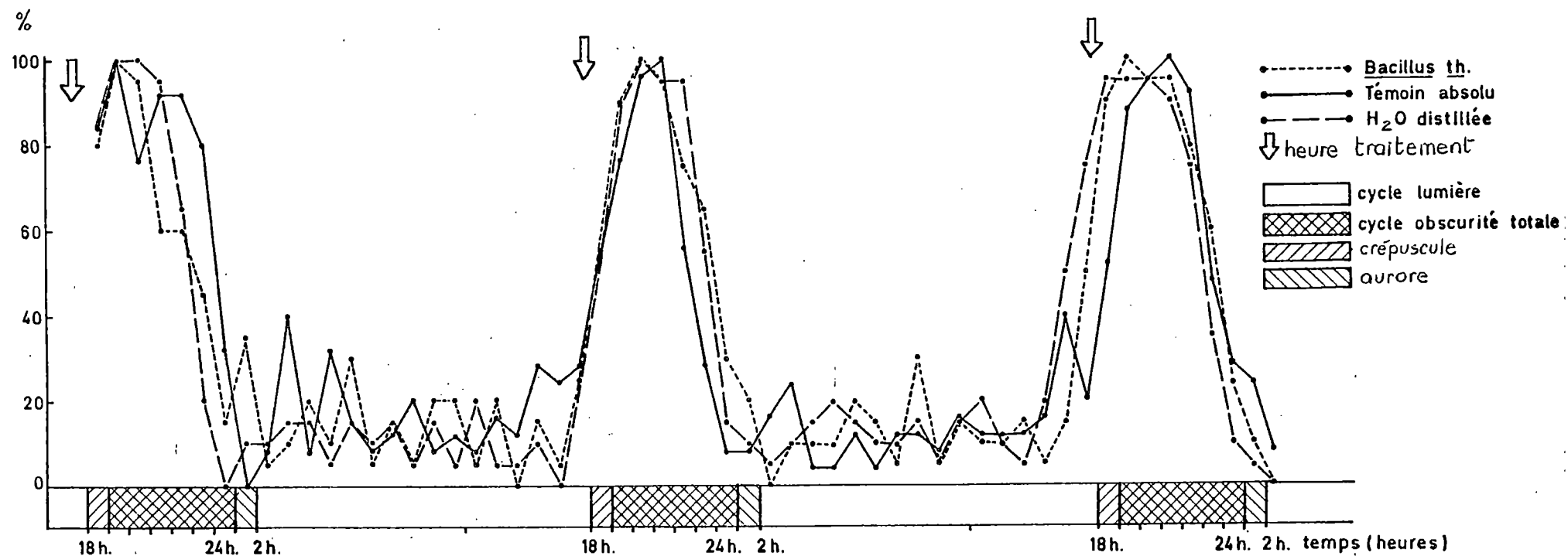


Figure 16 - Comportement d'appel chez les femelles de *Mamestra brassicae* en laboratoire (%).

----- Face au *Bacillus thuringiensis*
 ——— Blanc
 -.-.-.- Témoin (H₂O distillée)

- Conclusions -

Tel que prévu , les pulvérisations au Bacillus thuringiensis n'ont pas induit une variation dans le comportement d'appel de Mamestra brassicae. Ceci est bien clair dans le chevauchement des courbes de pourcentage d'appel à la Figure 16.

Les différences sont presque nulles et par conséquent, nous ne pouvons pas attendre un effet Bacillus thuringiensis sur cet aspect du comportement.

Par contre, il est intéressant de constater un phénomène à structure circadienne (50) , ce qui nous permet d'envisager l'utilisation de techniques d'interférence de ce comportement dans la lutte contre la noctuelle (Pièges, phéromones).

Les résultats montrés appartenant à la souche sauvage, nous donnent une bonne fiabilité des résultats du point de vue de leur applicabilité pratique. Le comportement aléatoire de la souche de laboratoire peut être dû à l'inversion de la photopériode, même si celle-ci a été inversée avant l'éclosion des imagos.

c- Etude du pourcentage d'accouplements de Mamestra brassicae au long de la journée -

D'après nos résultats sur le comportement circadien d'appel chez les femelles, on attendait une réponse en conséquence chez les mâles. Afin de vérifier nos résultats obtenus sur les femelles et d'établir la période pendant laquelle l'accouplement avait lieu, nous avons préparé une expérience dans laquelle une vingtaine de couples ont été suivis pendant la période nocturne notamment (observations une fois par heure).

Le même dispositif expérimental que pour l'expérience précédente a été utilisé. Les couples mûrs ont été confinés dans des boîtes isolées.

Les résultats obtenus sont repris au Tableau IV-7 et la Figure 17 représente l'évolution des accouplements dans le temps.

D'après ces résultats, nous pouvons constater que nos observations sur le comportement d'appel chez les femelles s'ajustent très bien à celles sur l'accouplement. L'accouplement a donc lieu tout de suite après le comportement d'appel des femelles.

La Figure 17 représente nos observations sur "Appel et Accouplement" assemblées pour mieux expliquer la séquence du comportement de Mamestra brassicae ..

TABLEAU IV-7 - Observations sur le nombre d'accouplements ayant lieu au cours de trois jours, chez des adultes de Mamestra brassicae (souche sauvage) dans des conditions de laboratoire

Nombre de couples observés	Période d'accoup. (heures)	Nombre d'accoup.	% d'acc-coupl.
20			
18 -	18 -	9	45
19 -	20	11	55
20 -	21	15	75
21 -	22	15	75
22 -	23	17	85
23 -	24	15	75
24 -	1	14	70
1 -	2	14	70
2 -	4	12	60
4 -	6	10	50
6 -	8	10	50
8 -	10	11	55
10 -	12	11	55
12 -	14	11	55
14 -	16	12	60
16 -	18	10	50
18 -	19	7	35
19 -	20	11	55
20 -	21	12	60
21 -	22	15	75
22 -	23	12	60
23 -	24	13	65
24 -	1	12	60
1 -	2	12	60
2 -	4	10	50
4 -	6	12	60
6 -	8	12	60
8 -	10	10	50
10 -	12	10	50
12 -	14	8	40
14 -	16	9	45
16 -	18	8	40
18 -	19	10	50
19 -	20	11	55
20 -	21	13	65
21 -	22	16	80
22 -	23	18	90
23 -	24	18	90
24 -	1	9	45
1 -	2	10	50
2 -	4		

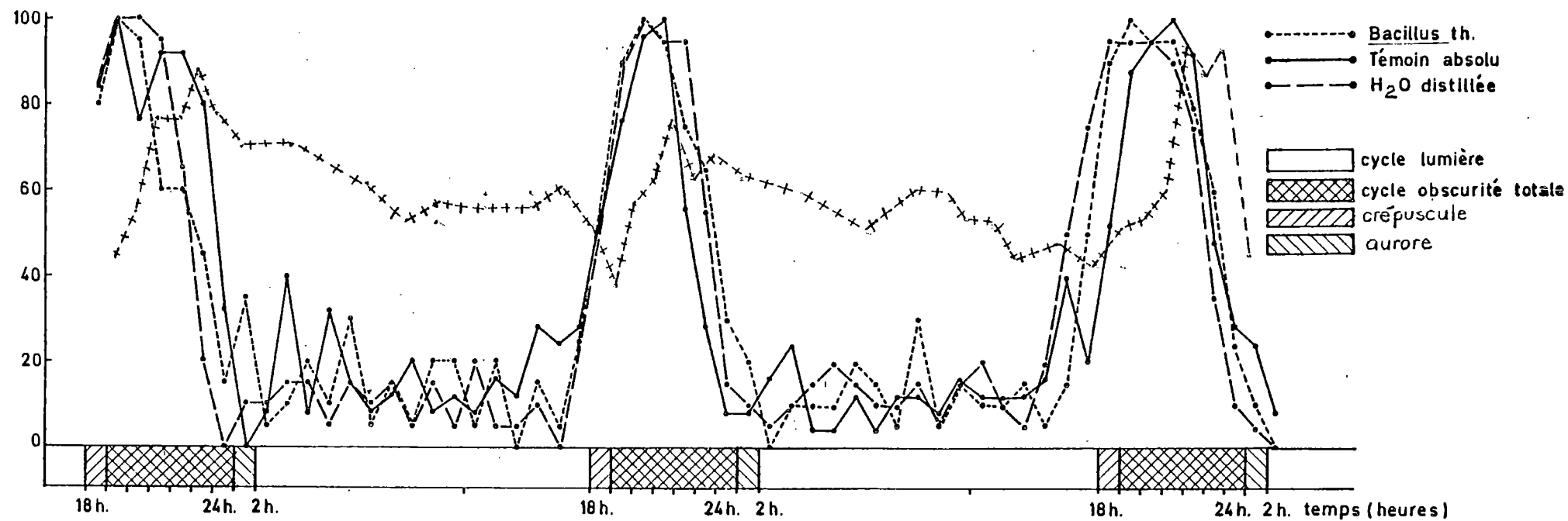


Figure 17 - Comportement d'appel et pourcentage d'accouplements au cours de 3 jours en conditions de laboratoire.

+++++ % d'accouplements (blanc)

d- Etude de la capacité d'accouplement des mâles de Mamestra brassicae et de l'inocuité de Bacillus thuringiensis
B. sur cet aspect du comportement

Une expérimentation a été menée permettant d'estimer la capacité des mâles à s'accoupler. La méthode de FUJIE cité par KHASIMUDDIN 1978 (143) nous a permis d'imaginer notre modèle expérimental.

- Méthode -

Huit mâles vierges, âgés de 72 heures ont été placés dans des boîtes d'accouplement (Voir Photo) et chaque nuit, en début de la période d'obscurité, on y plaçait une femelle vierge âgée celle-ci de 72 heures. Des observations sur l'accouplement y sont réalisées toutes les heures jusqu'à la fin de la période d'obscurité, après laquelle on retire la femelle et on note si l'accouplement a eu lieu ou non. Chaque femelle est placée pour observation afin de constater la fertilité de la ponte. Une autre femelle est ensuite placée avec le même mâle, et ainsi de suite pendant 5 journées.

Ce dispositif a été répété 1 fois avec la souche du laboratoire et avec la souche sauvage. L'ensemble a aussi été comparé à un dispositif identique mais celui-là a été réalisé en introduisant le Bacillus thuringiensis comme facteur possible d'interférence sur l'accouplement des mâles.

Le Bacillus thuringiensis, en solution à 5000 ppm. de conc. du p.c. (Bactospeine[®] sérotype 1. Batch 1255 - R.205) a été nébulisé dans les boîtes tout de suite après qu'elles aient été chargées avec des femelles. Le microclimat fixé a été celui du type B (Voir Tableau III-5).

- Résultats -

Les Tableaux IV-8 et IV-9 sont le résumé de nos observations pour 32 mâles, 8 par souche.

Les résultats observés chez les mâles non traités au Bacillus thuringiensis nous suggèrent assez bien la capacité d'accouplement normal des individus en laboratoire. On peut assurer qu'un mâle peut être capable de s'accoupler 5 fois au moins pendant sa vie imaginale.

Les différences, faibles, entre les deux souches étudiées ne sont pas significatives. Cependant, ici à nouveau, on doit noter que nos études ont été menées dans des conditions de laboratoire assez précises, raison qui doit jouer nécessairement soit en faveur soit en défaveur d'une ou de l'autre souche de Mamestra brassicae. On aurait tendance à croire que c'est plutôt la souche de laboratoire la plus favorisée dans nos observations du fait de sa sélection au long de plusieurs générations.

La mise en évidence d'une polygamie chez Mamestra brassicae nous fournit un élément de plus dont il faut tenir compte dans la lutte contre cette noctuelle. Cet avantage de l'espèce qui concerne une reproduction potentielle très grande, peut aussi être utilisée contre la noctuelle lors de programmes de lutte de type autocide. La probabilité d'atteindre les mâles par des techniques telles que celle appelée aux Etats Unis "Bobby trapping" est beaucoup plus grande que chez des espèces monogamiques.

TABLEAU IV-8 - Capacité d'accouplement des mâles de Mamestra brassicae en laboratoire

(+) = accouplement

(-) = non accouplement

	Mâle	Femelle					Total/5	%
		1	2	3	4	5		
Souche Sauvage	1	+	+	+	+	+	5	100
	2	+	+	-	+	+	4	80
	3	+	+	+	+	+	5	100
	4	+	+	+	+	+	5	100
	5	-	+	+	-	-	2	40
	6	-	+	+	-	-	2	40
	7	+	+	+	+	+	5	100
	8	-	-	-	+	+	2	40
Souche Labo.	1	-	-	+	+	+	3	60
	2	+	-	+	+	+	4	80
	3	-	+	-	+	-	2	40
	4	+	+	+	+	+	5	100
	5	+	+	+	+	+	5	100
	6	-	+	-	+	+	3	60
	7	+	+	+	+	+	5	100
	8	+	+	+	+	+	5	100

TABLEAU IV-9 - Capacité d'accouplement des mâles de Mamestra brassicae en présence d'une pulvérisation de Bacillus thuringiensis en laboratoire

(+) = accouplement

(-) = non accouplement

	Mâle	Femelle					Total/5	%
		1	2	3	4	5		
Souche Sauvage	1	-	-	-	+	-	1	20
	2	+	+	+	+	+	5	100
	3	-	-	+	+	+	3	60
	4	+	+	+	-	+	4	80
	5	+	+	+	+	+	5	100
	6	+	+	+	+	+	5	100
	7	-	-	+	-	-	1	20
	8	+	+	+	+	+	5	100
Souche Labo	1	+	+	+	+	+	5	100
	2	-	-	-	-	+	1	20
	3	+	+	+	+	+	5	100
	4	+	-	-	-	-	1	20
	5	+	+	+	+	+	5	100
	6	-	+	+	+	+	4	80
	7	+	+	-	+	+	4	80
	8	+	+	+	+	+	5	100

e- Etude de l'effet du Bacillus thuringiensis sur le comportement de réponse chez les mâles de Mamestra brassicae L. en laboratoire

L'inocuité du Bacillus thuringiensis sur le plan comportemental précopulatoire des imagos a été finalement vérifiée à l'aide d'un dispositif expérimental (Figure 18) dans lequel près de 450 mâles ont été mis en observation pendant trois jours, période durant laquelle leur comportement de réponse face à des femelles mures et vierges a été suivi dans une atmosphère saturée en émanations d'une solution du Bacillus thuringiensis (concentration du 0,5 % du Produit commercial Bactospeine[®] Batch 1255-R. 205 Ser. 1). La distribution des traitements a été telle que celle reprise au Tableau IV-10 ci-dessous.

TABLEAU IV-10 Distribution des traitements pour l'étude d'une interférence possible du Bacillus thuringiensis sur la réponse des mâles face à des femelles en train d'appeler

Nombre de mâles par tube	Période d'étude heures	Nombre de répétitions	Souches	Traitements comparés
6	24	3	Laboratoire	H ₂ O <u>Bacillus thuringiensis</u>
			Sauvage	H ₂ O <u>Bacillus Thuringiensis</u>

Les tubes contenant des imagos ont été remplis chaque jour avec des individus âgés de 48 ± 5 h. Les tubes étaient munis d'un disque, troué au milieu, à travers lequel les mâles pouvaient passer dans un piège, attirés par les émanations de phéromone en provenance des femelles (Voir Figure 18 et Photo 15).

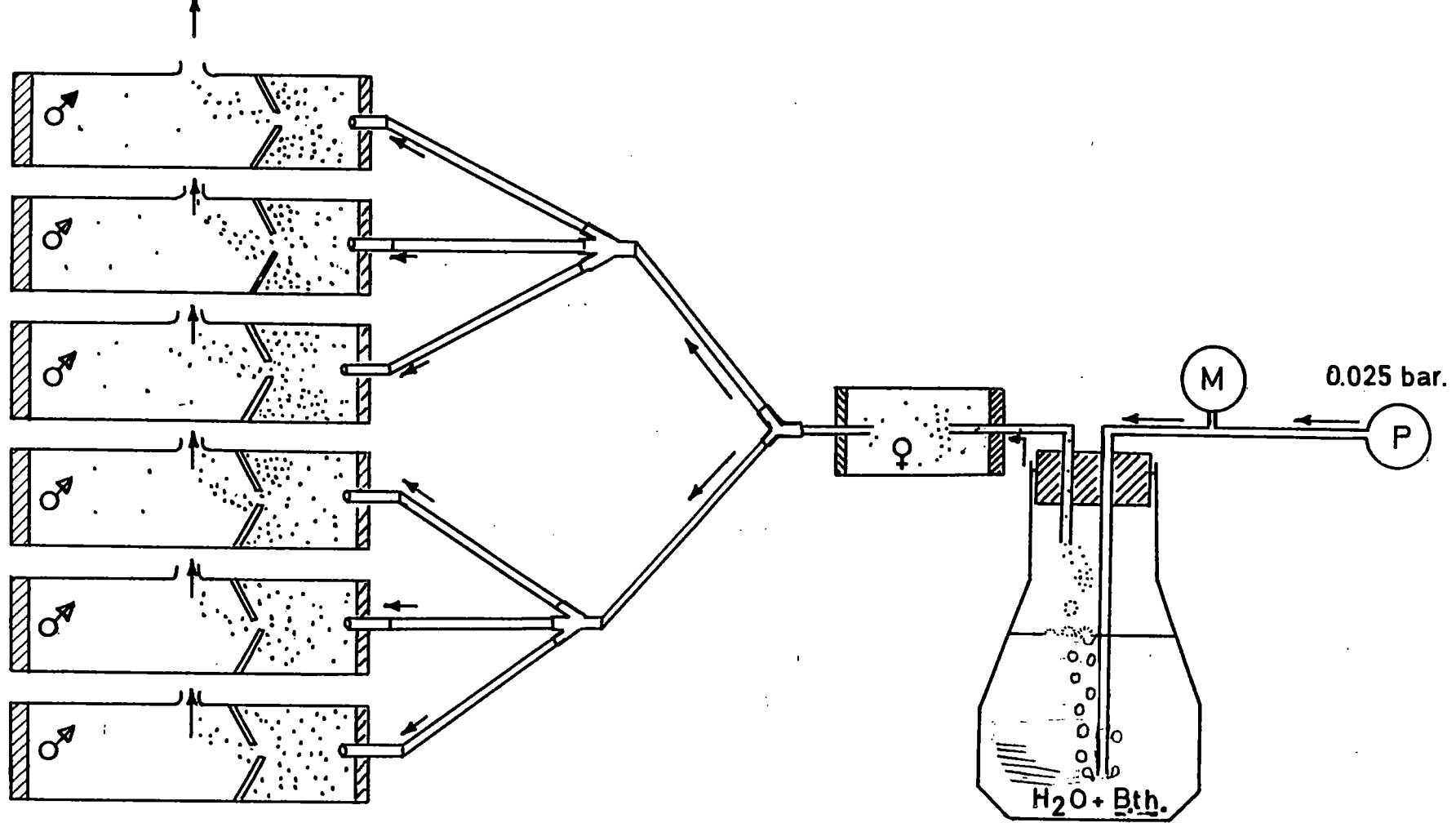


Figure 18 - Schéma de l'appareillage destiné à l'étude de l'interaction entre le comportement d'appel et réponse des imagos de Mamestra brassicae et le Bacillus thuringiensis (B.)

♂ males ♀ femelles P: pompe f. M: manometre. → air

Afin de pouvoir retenir comme critère positif de réponse des mâles, le nombre d'individus ayant passé à travers l'orifice, nous avons aussi établi le même dispositif mais l'atmosphère étant saturée en eau seulement.

La source d'air comprimé débitait à une pression constante de 0,025 bar de manière à obtenir une pression de 0,0042 bar dans chaque tube à mâles. La longueur et le diamètre des tubes utilisés ont été soigneusement calibrés afin de garantir une distribution uniforme de la pression de débit et par conséquent, des sources des émanations mises en comparaison.

- Résultats -

Nos résultats sont résumés aux Tableaux IV-11 et IV-12. Les données ont été soumises à l'analyse de la variance et les moyennes comparées par le Test de Duncan.

TABLEAU IV-11 - Etude du comportement des mâles de deux souches de Mamestra brassicae face à des femelles en train de libérer la phéromone sexuelle

Traitement	Nombre de Mâles	Mâles ayant donné une réponse positive face aux femelles				
Atmosphère saturée au <u>Bacillus thuringiensis</u>						
		I	II	III	$\bar{X}$	$\pm \delta^*$
1	6	4	5	6	5,0	1,33 _a
	6	1	3	6	3,3	
	6	6	3	5	4,6	
	6	5	5	4	4,6	
	6	5	4	6	5,0	
	6	4	6	5	5,0	
Souche Sauvage						
Atmosphère saturée à l'eau déminéralisée						
		I	II	III	$\bar{X}$	$\pm$
2	6	3	5	4	4	1,44 _a
	6	5	4	6	5	
	6	3	3	6	4	
	6	2	3	5	3	
	6	4	2	6	4	
	6	6	6	3	5	
Souche Laboratoire						
Atmosphère saturée au <u>Bacillus thuringiensis</u>						
		I	II	III	$\bar{X}$	$\pm$
3	6	4	5	6	5,0	1,09 _a
	6	5	5	6	5,3	
	6	3	3	5	3,7	
	6	5	3	3	3,7	
	6	5	4	4	4,3	
	6	6	3	4	3,3	
Souche Sauvage						
Atmosphère saturée à l'eau déminéralisée						
		I	II	III	$\bar{X}$	$\pm$
4	6	5	6	6	5,6	1,15 _a
	6	4	5	6	5,0	
	6	3	4	5	4,0	
	6	5	3	4	4,0	
	6	6	4	3	4,3	
	6	3	5	3	3,7	
Souche Laboratoire						

* Chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas différents du seuil (0,1 %) - Test de t (Duncan)

δ = Variance

TABLEAU IV-12 Pour l'analyse statistique des valeurs consignées au Tableau IV-11 , groupées en 4 traitements et 18 répétitions

Source de variation	Somme des carrés	GL.	CM.	F.	Degré de signification (0,1%)
Entre traitements	1,39	3	0,46	0,29	N.S.
R. Erreur	108,11	68	1,59		
TOTAL	109,5	71			

- Conclusion -

Nos résultats ne nous permettent pas d'accorder une priorité à un des traitements..

Bacillus thuringiensis reste donc un traitement non altératif du comportement de réponse des mâles de Mamestra brassicae L. lorsqu'on travaille dans les conditions mentionnées.

6 - Le comportement de ponte chez Mamestra brassicae L.

a- Introduction -

La sélection de la plante-hôte par les femelles pour la ponte est très souvent influencée par la texture de la surface de celle-ci (154). Ainsi, il a été démontré sur plusieurs espèces de Noctuidae (253) (21) (26) (77) et Coleoptera (309) (310) la préférence des femelles pour des surfaces d'une certaine texture ou couleur (177) (321) (328) (98) (211) (216).

Nous avons cherché à étudier une telle hypothèse de choix, en considérant que très souvent les pontes de Mamestra brassicae étaient plus nombreuses sur des variétés de chou ayant des feuilles à surface rugueuse plutôt que sur des variétés avec des feuilles à surface lisse.

Ainsi, pour certains Noctuidae et Pyralidae, ce phénomène de choix est connu sur le comportement de ponte, STEWART 1964 (275), mais il n'existe dans la littérature consultée aucun rapport en référence à un comportement différentiel vis-à-vis des surfaces rugueuses. C'est que nous avons essayé de vérifier pour Mamestra brassicae sur la plante-hôte et sur une surface non végétale mais rugueuse.

Dès lors, plusieurs problèmes doivent être résolus :

- 1- le rôle de la texture superficielle des feuilles sur la ponte
- 2- le rôle de la couleur sur la ponte
- 3- le rôle des composants aromatiques (odeurs) de chaque variété en étude.

Nous avons procédé par comparaisons soit entre des variétés ou entre des surfaces, ou enfin entre des couleurs différentes avec chaque fois, une approche sur le terrain et au laboratoire.

b- Etude du comportement de ponte de Mamestra brassicae L.
sur trois variétés commerciales de Brassica oleracea L.

- Méthode -

Afin de pouvoir déterminer l'hôte principal de Mamestra brassicae parmi 3 variétés de B. oleracea, nous avons suivi pendant les étés 1979 et 1980, l'évolution de la ponte de la noctuelle dans des parcelles commerciales situées dans la région de Meux et La Bruyère (Brabant Wallon) (Voir Figure 3).

Si notre but principal était de mieux fixer sur le terrain l'ordre de préférence de l'insecte, cette expérience a aussi été l'occasion de suivre dans des conditions naturelles, le comportement de ponte de l'espèce, notamment en ce qui concerne la localisation des oeufs sur la plante-hôte.

L'exploitation maraîchère où l'on a réalisé nos travaux fonctionne depuis plus de 10 années, situation qui a favorisé l'implantation d'une population assez importante de l'insecte objet de nos études. Nous avons établi deux terrains d'observation; dans le premier (Figure 20), situé à Meux, nous avons établi 12 parcelles, à raison de 4 par variété, avec les 3 variétés de Brassica oleracea plus importantes d'après leur surface plantée et leur coût de production (vars : frixé ou chou de Milan, var. cabus blanc, et var. rouge) (Voir Photos 15-16). En 1979, chaque parcelle a compris 6 sillons de 30 mètres de longueur, séparés de 0,5 m, donc 90 m² de surface totale. Les choux ont été plantés à raison de 180 par parcelle et ils ont subi toutes les pratiques normales du cultivateur.

Les mesures ont été réalisées sur 25 plantes entières par parcelle et par jour. Les pontes ont été dénombrées d'après leur taille et leur position sur la feuille, à savoir Recto, Verso, Tiges, etc.. et la distance entre le lieu de la ponte et le bord de la feuille (d = cm) a été mesurée. Chaque ponte était prélevée après lecture.

Durant l'été 1980, la même expérimentation a été menée, d'abord sur le même terrain qu'en 1979 mais suite à des pluies hors saison, il a fallu nous porter sur une autre culture située à La Bruyère à quelques kilomètres de Meux. Dès lors, les parcelles ont été beaucoup plus grandes.

En effet, on a établi des parcelles de 4 x 100 m (40 m²) et 50 plantes au total ont été observées par parcelle et par jour pendant la durée de l'expérience.

Dans les deux expérimentations, nous avons pris certaines précautions pour éviter un biais des mesures ; nous remarquerons notamment :

- 1- Lectures au hasard
- 2- Parcours en zig-zag des parcelles
- 3- Elimination des pontes répertoriées chaque fois
- 4- Mesures dans les sillons intérieurs des parcelles
- 5- Même heure, autant que possible, et après 10 heures du matin pour éviter la rosée matinale.



Photos. 15 A: chou frisé B: chou rouge



Photo 16. chou cabus blanc

La Figure 19 représente les paramètres retenus dans nos observations.

FIGURE 19 - Modèle de feuille utilisée pour nos observations sur le terrain

DATE		VARIETE		LOCALISATION DES PONTES										
Parcelle	TOTAUX		Orientation face antér. des feuell.				Angle position des feuilles				Recto		Autr.	
	Pontes	Oeufs									Verso			
Plant visité			N	S	E	W	0/15° 15/30° 30/45° 45/90°							d xxxx
1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
2														
3														
.														
.														
n														

L'orientation de la ponte vis-à-vis des points cardinaux (colonnes 3 à 6) a été prise en notant pour chaque ponte, l'orientation de la surface recto de la feuille portant la ponte. L'angle de position de la feuille (colonnes 7 à 10) a été déterminé en fixant comme valeur 0° l'angle des feuilles qui touchent le sol, c'est-à-dire celles qui sont placées horizontalement (Figure 28).

L'expérience proprement dite a duré 15 jours en 1979 et 16 jours en 1980. Cependant, la culture a dû être visitée journalièrement jusqu'à 3 semaines avant le démarrage de la prise des données, cela pour bien choisir l'apparition des premières infestations du premier ou deuxième vol de Mamestra brassicae .

Pendant nos expériences, la culture avait 16 feuilles minimum et les choux étaient déjà pommés, à peu près 1- 1 1/2 mois avant la récolte.

Aucun insecticide n'a été appliqué sur les parcelles pendant nos travaux. En raison du prélèvement important des pontes, suite à nos observations, le nombre de chenilles a diminué sensiblement.

Vu le nombre important de données à récolter, 600/pl. jour en 1980 et 300/jour en 79, quatre compteurs manuels ont été d'une utilité remarquable.

- Résultats -

Les Tableaux IV-13, IV-14, IV-15, IV-16, IV-17, IV-18, IV-19 et IV-20 en annexe, sont le résumé des données ainsi prélevées au long de l'expérience. Les Tableaux IV-21 à IV-32 montrent les résultats des analyses statistiques.

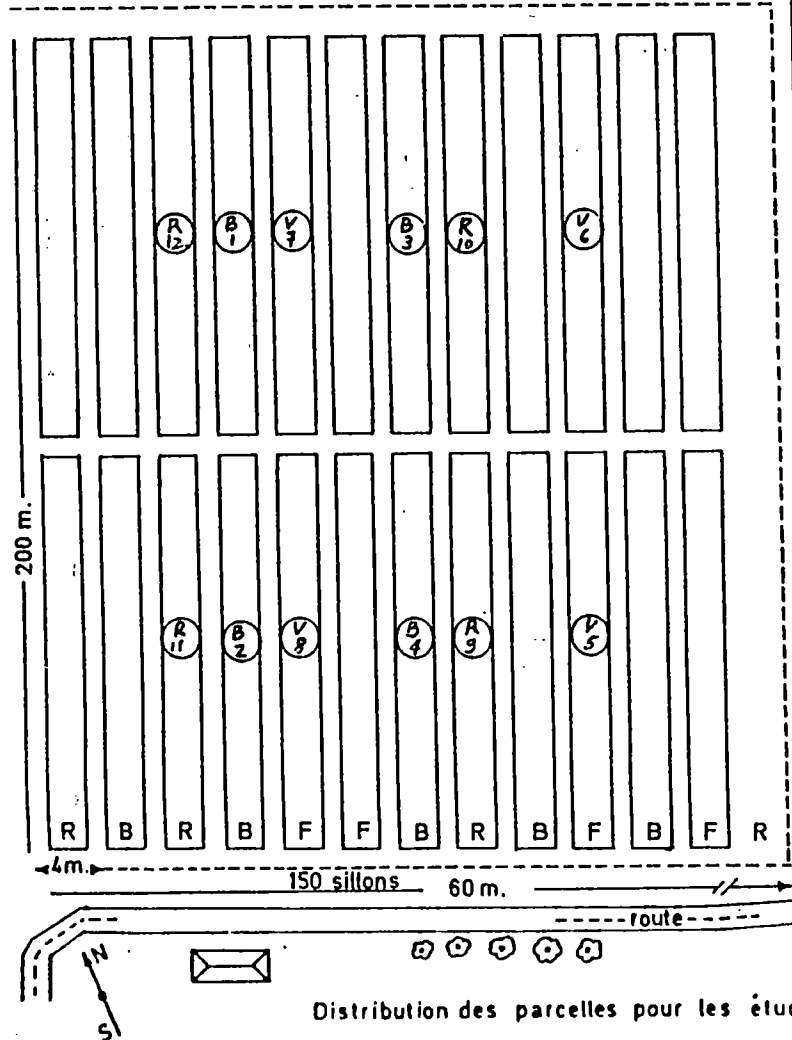
La Figure 21 reprend les données concernant la distribution de la ponte en fonction du paramètre d (cm).

Aux Tableaux IV-33, IV-34, IV-35 et IV-36, nous avons repris la distribution des oeufs en fonction de la variété et l'analyse statistique (ANOVA et Test de DUNCAN). Les Figures 22 à 27 sont la représentation de ces résultats.

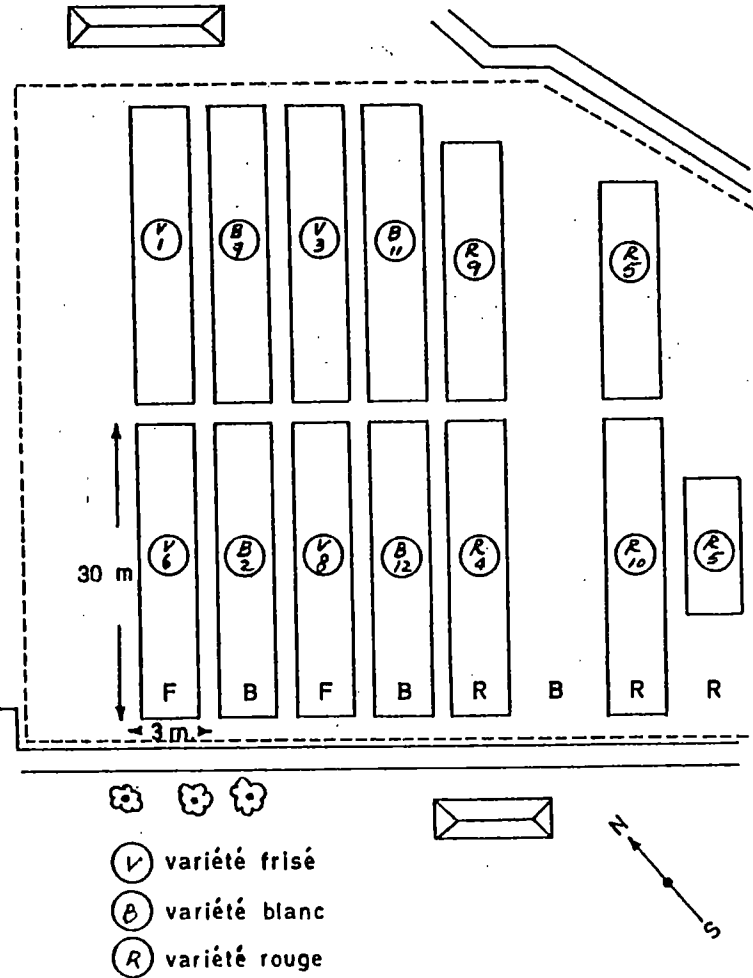
L'étude de la distribution de la ponte en fonction de l'angle de position de la feuille a donné les résultats montrés et analysés aux Tableaux IV-37 à IV-49, la figure 28 est la représentation en schéma des résultats.

Enfin, au Tableau IV-50, nous avons les résultats concernant la distribution de la ponte en fonction de l'orientation cardinale (orientation des feuilles).

1980 La Bruyère



1979 Meux



Distribution des parcelles pour les études sur la ponte de M. brassicae en 1979 et 1980

TABLEAU IV-21 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae sur B. oleracea var FRISEE d'après la valeur de la distance, d(cm), du lieu de ponte à la bordure la plus proche de la feuille * 1979

Niveau d(cm)	Nombre de pontes Totaux					
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$
0 - 2	1	9	11	3	6	4,76
2 - 4	134	11	58	99	75,50	53,04
4 - 6	14	78	48	83	55,75	31,84
> 6	2	7	29	16	13,50	11,85

TABLEAU IV-22 - Analyse de la variance du Tableau IV-21

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signification (0,01%) (2,5%)
Entre niveaux	13.380,69	3	4460,23	4,47	N.S. S.
Résid. erreur	11.970,75	12	997,56		
TOTAL	25.351,44	15			

* 25 plantes/répétition et par jour (15 jours)

N.S. = Non significatif

S. = Significatif

TABLEAU IV-23 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae L. sur B. oleracea var Cabus blanc, d'après la valeur de la distance, d(cm), du lieu de ponte à la bordure la plus proche de la feuille * 1979

Niveau d(cm)	Nombre de pontes Totaux					
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$
0 - 2	6	3	2	1	3	2,16
2 - 4	67	22	45	34	42	19,13
4 - 6	37	41	22	17	29,25	11,56
> 6	25	12	3	6	11,50	9,75

TABLEAU IV-24 - Analyse de la variance du Tableau IV-23

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM	F.	Degré de Signification (0,01%) (1%)
Entre niveaux	3.690,19	3	1.230,06	8,21	N.S. S.
Résid. erreur	1.797,75	12	149,81		
TOTAL	5.487,94	15			

* 25 plantes par répétition et par jour (15 jours)

N.S. = non significatif

S. = significatif

TABLEAU IV-25 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae L. sur B. oleracea var. ROUGE, d'après la valeur de la distance, d(cm), du lieu de ponte à la bordure la plus proche de la feuille - 1979

Niveau d(cm)	Nombre de pontes Totaux					
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$
0 - 2	-	1	-	-	0,25	0,50
2 - 4	6	12	6	4	7,0	3,46
4 - 6	8	4	4	6	5,50	1,91
> 6	1	2	-	1	1,0	0,82

TABLEAU IV-26 - Analyse de la variance du Tableau IV-25

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM	F.	Degré de Signification (0,01%) (0,5%)	
Entre niveaux	132,19	3	44,06	10,63	N.S.	S.
Résid. erreur	49,75	12	4,15			
TOTAL	181,94	15				

* 25 plantes par répétition et par jour (15 jours)
N.S. = non significatif S. = significatif

TABLEAU IV-27 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae L. sur B. oleracea var. FRISEE, d'après la valeur de la distance, d(cm), du lieu de ponte à la bordure la plus proche de la feuille - 1980

Niveau d(cm)	Nombre de pontes Totaux					
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$
0 - 2	12	21	17	29	19,75	7,18 b*
2 - 4	180	163	236	208	196,75	32,08 a
4 - 6	84	103	144	203	133,50	52,67 a
> 6	23	42	63	71	49,75	21,62 b

TABLEAU IV-28 - Analyse de la variance du Tableau IV-27

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signification (0,05%)	
Entre niveaux	77.791,69	3	25.930,56	24		S.
Résid. erreur	12.965,25	12	1.080,44			
TOTAL	90.756,94	15				

* Chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil 0,01 % (Test de t Duncan)
S. = significatif

TABLEAU IV-29 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae L. sur B. oleracea var Cabus Blanc, d'après la valeur de la distance, d(cm), du lieu de ponte à la bordure la plus proche de la feuille - 1980.

Niveau d(cm)	Nombre de pontes Totaux						
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$	*
0 - 2	3	2	5	9	4,75	3,10	b
2 - 4	51	51	96	62	65	21,31	a
4 - 6	47	39	37	58	45,25	9,54	a
> 6	12	5	13	17	11,75	4,99	b

TABLEAU IV-30 - Analyse de la variance du Tableau IV-29

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de signification (0,05 %)
Entre niveaux	9.667,19	3	3.222,4	22,25	S.
Résid. erreur	1.738,25	12	144,85		
TOTAL	11.405,44	15			

* Chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil 0,01 % (Test de t Duncan)

S. = significatif

TABLEAU IV-31 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae L. sur B. oleracea var ROUGE, d'après la valeur de la distance, d(cm), du lieu de ponte à la bordure la plus proche de la feuille - 1980

Niveau d(cm)	Nombre de pontes Totaux						
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$	
0 - 2	1	-	-	2	0,75	0,96	
2 - 4	3	5	9	9	6,50	3,0	
4 - 6	11	16	8	3	9,50	5,45	
> 6	7	-	4	1	3,00	3,16	

TABLEAU IV-32 - Analyse de la variance du Tableau IV-31

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signification (0,05 %)
Entre niveaux	178,19	3	59,4	4,79	N.S.
Résid. erreur	148,75	12	12,4		
TOTAL	326,94	15			

N.S. = non significatif

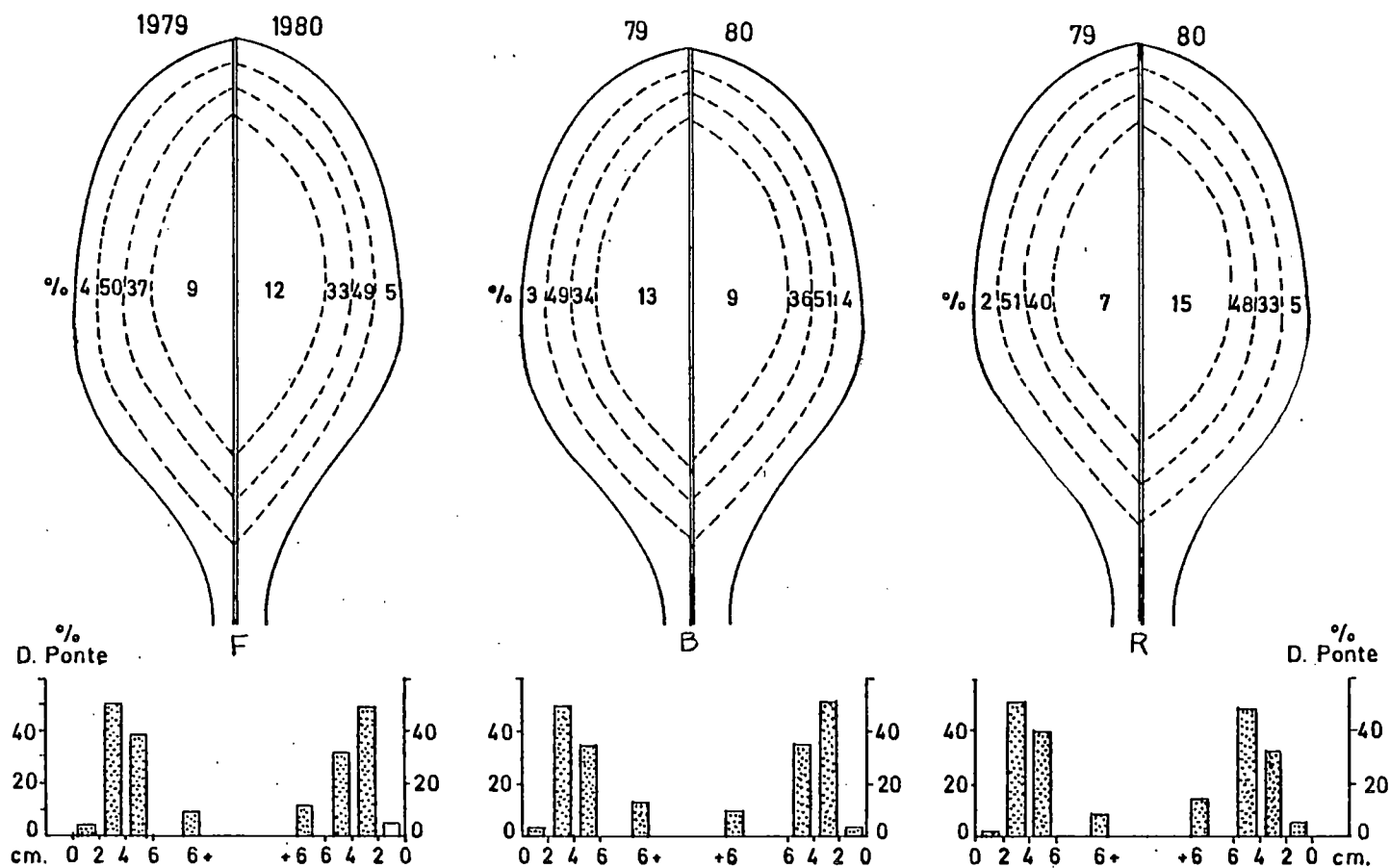


Figure 21 - Distribution des pontes de *Mamestra brassicae* L. (en pourcentages) dans la surface foliaire (verso) de 3 variétés : Frisé, blanc et rouge de *Brassica oleracea* L. en conditions naturelles (1979-1980) F. B. R.

TABLEAU IV-33 - Ponte totale de Mamestra brassicae L. par variété de B. oleracea en conditions de champ. La Bruyère - 1979

Variété	Quantité d'oeufs par répétition					
	I	II	III	IV	X	$\pm \delta$ * (0,01%)
ROUGE	181	196	108	150	158,75	38,88 b
BLANC	2688	2134	1755	1357	1983,5	566,77 b
FRISEE	4112	2861	2318	5355	3661,5	1356,06 a

TABLEAU IV-34 - Analyse de la variance du Tableau IV-33

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signification (0,1%)
Entre variétés	24.552.872,17	2	12.276.436,09	17,04	S.
Res. erreur	6.484.904,75	9	720.544,97		
TOTAL	31.037.776,92	11			

* Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil noté (Test de t Duncan)
S. = significatif

TABLEAU IV-35 - Comportement de ponte de Mamestra brassicae L. sur 3 variétés de Brassica oleracea en conditions de champ. Meux. - 1980

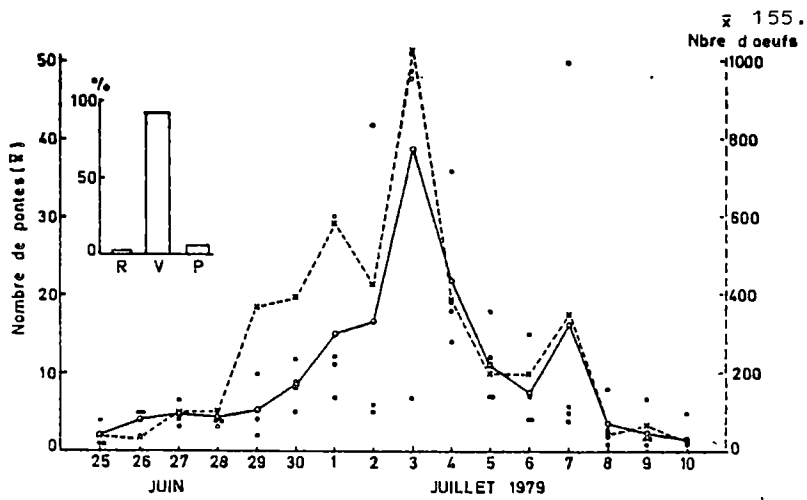
Variété	Quantité d'oeufs par répétition					
	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$ * (0,01%)
ROUGE	579	538	484	266	466,75	139,37 b
BLANC	2090	3208	3952	2673	2980,75	792,28 b
FRISEE	12077	10375	16709	17876	14259,25	3602,40 a

TABLEAU IV-36 - Analyse de la variance du Tableau IV-35

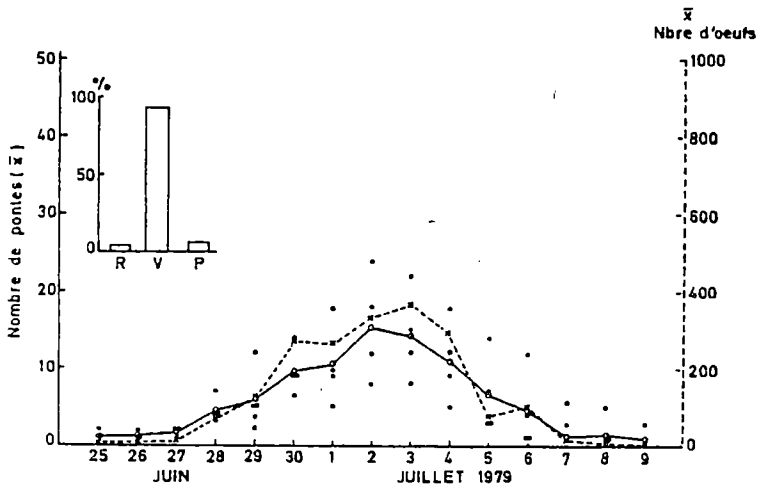
Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signif. (0,05%)
Entre variétés	431.677.086,0	2	215.838.543,0	47,53	S.
Rés. erreur	40.873.158,2	9	4.541.462,02		
TOTAL	472.550.244,2	11			

* Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil noté (Test de t Duncan)
S. = significatif

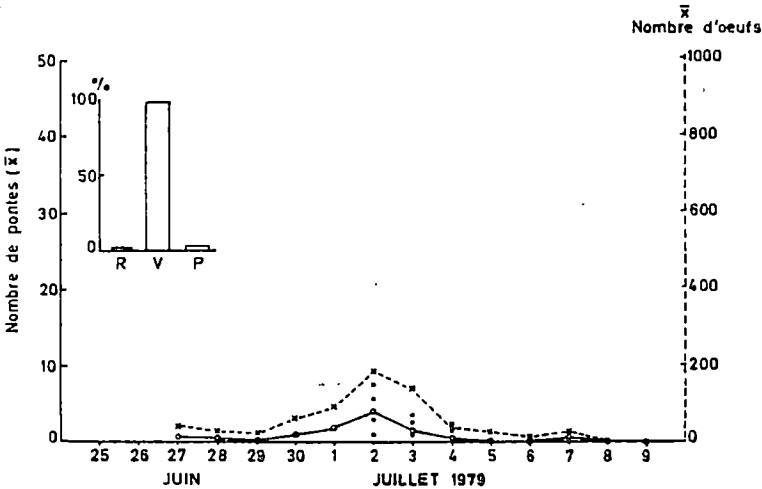
22



23



24

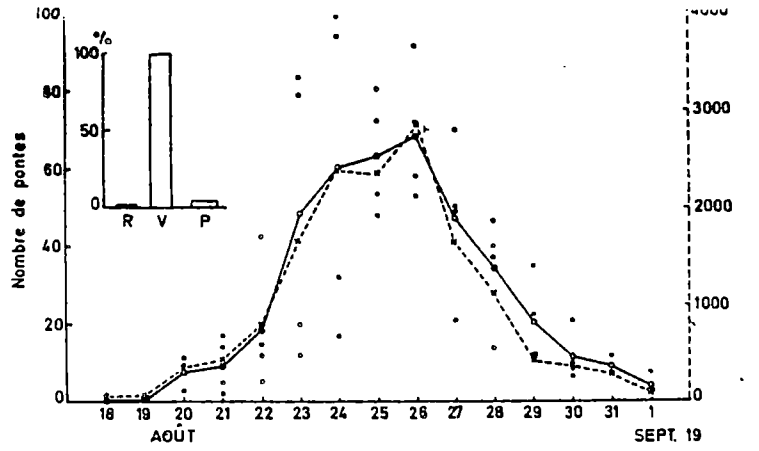


Figures 22-23-24.

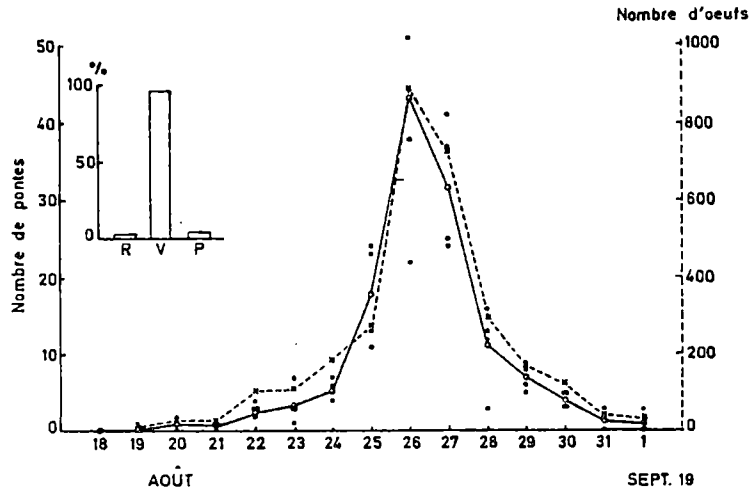
Evolution de la ponte de *M. brassicae* sur *B. oleracea* var. Frisée, et Cabus blanc. 1979. R : recto ; V : verso ; P : pétiole

Rouge,

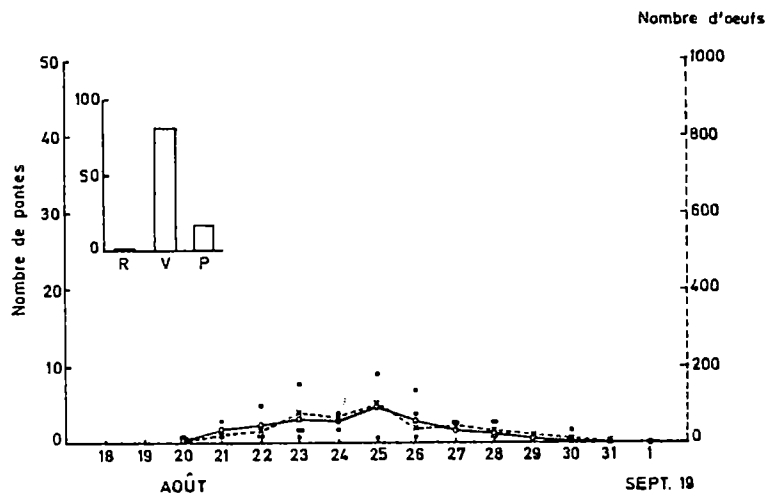
25



26



27



Figures 25-26-27

Evolution de la ponte de *M. brassicae* sur *B. oleracea* var. frisé. Cabus blanc.
rouge. 1980. R : recto ; V : verso ; P : p t  le.

TABLEAU IV-37 - Distribution de la ponte (%) de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea suivant l'angle de position de la feuille (recto) par rapport à l'horizontale 0° (ponte totale, et %).

VARIETE Angle	ANNEE 1979						ANNEE 1980					
	FRISE		BLANC		ROUGE		FRISE		BLANC		ROUGE	
	%		%		%		%		%		%	
0 à 15°	13	2,16	3	0,87	-	-	64	4	10	1,97	-	-
15 à 30°	211	34,99	123	35,86	24	43,64	688	43,03	238	46,94	41	51,90
30 à 45°	254	42,12	144	41,98	27	49,09	528	33,02	162	31,95	29	36,71
45 à 90°	125	20,73	73	21,28	4	7,27	319	19,95	97	19,13	9	11,39
TOTAL PONTES	603		343		55		1.599		507		79	

TABLEAU IV-38 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea selon l'angle de position de la feuille - Variété Frisée - 1979

Classe	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \sigma$	* 0,01%
1 (0 -15°)	3	4	4	2	3,25	0,96	d
2 (15-30°)	49	54	52	46	50,25	3,50	b
3 (30-45°)	68	63	59	64	63,50	3,70	a
4 (45-90°)	33	38	20	34	31,25	7,80	c

TABLEAU IV-39 - Analyse de la variance du Tableau IV-38

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signific. 0,01%
Traitement ou classe	8.199,69	3	2733,23	124,59	H.S.
Rés. erreur	263,25	12	21,94		
TOTAL	8.462,94	15			

* Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas différents au seuil de signifiante noté.

H.S. = Hautement significatif

TABLEAU IV-40 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea selon l'angle de position de la feuille - Variété Cabus blanc - 1979

Classe	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \sigma$	* 0,01%
1 (0 -15°)	1	2	-	-	0,75	0,96	c
2 (15-30°)	34	37	24	28	30,75	5,85	a
3 (30-45°)	33	38	41	32	36,0	4,24	a
4 (45-90°)	21	17	23	12	18,25	4,86	b

TABLEAU IV-41 - Analyse de la variance du Tableau IV-40

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signif. 0,01%
Entre classes	2947,69	3	982,56	51,21	H.S.
Res. erreur	230,25	12	19,19		
TOTAL	3177,94	15			

* Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil indiqué (Test de t Duncan)

H.S. = hautement significatif

TABLEAU IV-42 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea selon l'angle de position de la feuille - Variété Rouge - 1979

Classe	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$	* 0,1 %
1 (0 -15°)	-	-	-	-	-	-	c
2 (15-30°)	5	6	7	6	6,00	0,82	a
3 (30-45°)	5	6	8	8	6,75	1,50	a
4 (45-90°)	1	1	-	2	1,0	0,82	b

TABLEAU IV-43 - Analyse de la variance du Tableau IV-42

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signif. 0,01%
Traitement ou classe	141,19	3	47,06	52,53	H.S.
Res. Erreur	10,75	12	0,9		
TOTAL	151,94	15			

* Les chiffres suivis d'une lettre commune ne diffèrent pas significativement au seuil noté

H.S. = hautement significatif

TABLEAU IV-44 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae L. sur Brassica oleracea selon l'angle de position de la feuille - Variété Frisée - 1980

Classe	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$	* 0,1%
1 (0 -15°)	15	17	18	14	16	1,83	c
2 (15-30°)	182	176	154	176	172	12,33	a
3 (30-45°)	138	145	149	96	132	24,43	ab
4 (45-90°)	81	69	75	94	79,75	10,69	bc

TABLEAU IV-45 - Analyse de la variance du Tableau IV-44

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signif. 0,1%
Traitement ou classe	54.696,19	3	18.232,06	84,19	S.
Rés. Erreur	2.598,75	12	216,56		
TOTAL	57.294,94	15			

* Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil noté (0,1 % - Test de Duncan)

S. = Significatif

TABLEAU IV-46 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea selon l'angle de position de la feuille - Variété Blanc cabus - 1980

Classe	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$	* (0,01%)
1 (0-15°)	3	4	2	1	2,50	1,29	d
2 (15-30°)	61	54	68	55	59,50	6,45	a
3 (30-45°)	37	41	46	38	40,50	4,04	b
4 (45-90°)	24	23	19	31	24,25	4,99	c

TABLEAU IV-47 - Analyse de la variance du Tableau IV-46

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM	F.	Degré de Signif. 0,01%
Traitement ou classe	7.033,69	3	2.344,56	110,85	H.S.
Rés. Erreur	253,75	12	21,15		
TOTAL	7.287,44	15			

* Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas différents de manière significative au seuil (0,01 %)

H.S. = hautement significatif

TABLEAU IV-48 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea selon l'angle de position de la feuille - Variété Rouge - 1980

Classe	I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\pm \delta$	* (0,01%)
1 (0-15°)	-	-	-	-	-	-	c
2 (15-30°)	8	9	14	10	10,25	2,63	a
3 (30-45°)	7	5	8	9	7,25	1,71	a
4 (45-90°)	2	3	3	1	2,25	0,96	b

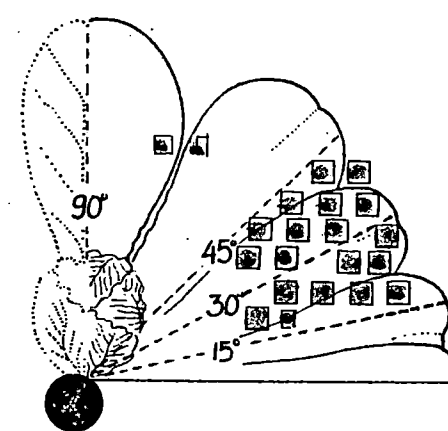
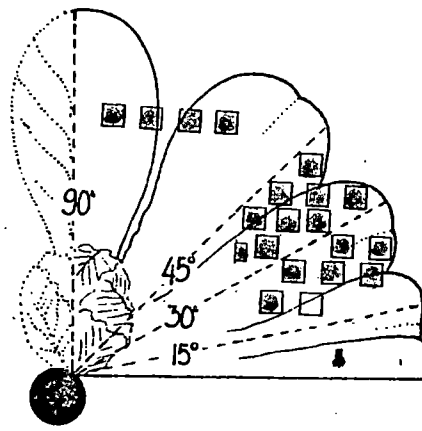
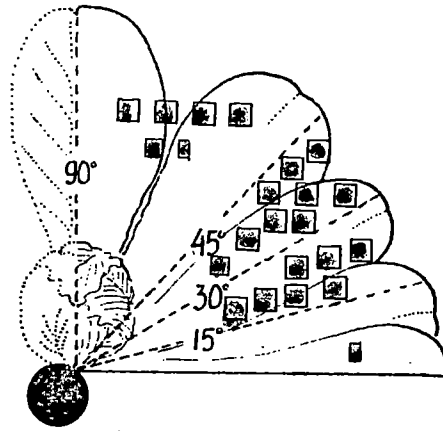
TABLEAU IV-49 - Analyse de la variance du Tableau IV-48

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	CM.	F.	Degré de Signification (0,5 %)
Traitement ou classe	260,69	3	86,90	32,33	S.
Res. Erreur	32,25	12	2,69		
TOTAL	292,94	15			

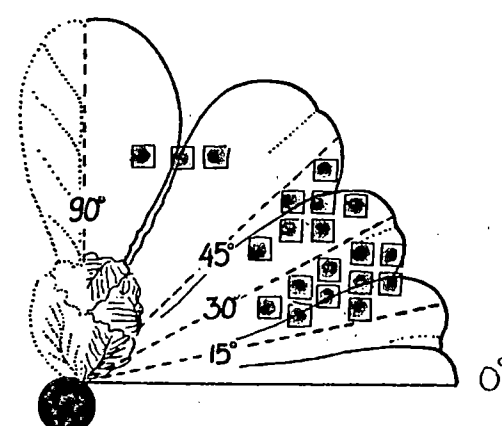
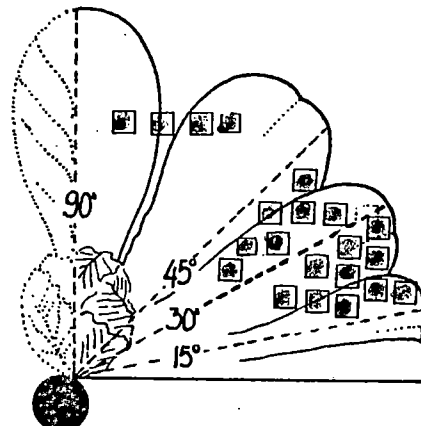
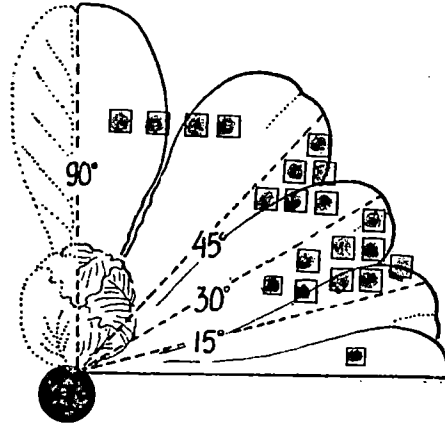
* Chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil (0,01%) (Test de Duncan).

S. = Significatif

1979



1980



■ ≈ 5 %

variétés



Figure 28 - Distribution de la ponte de Mamestra brassicae sur Brassica oleracea d'après l'angle de position de la feuille.

TABLEAU IV-50- Orientation cardinale des faces antérieures des feuilles portant les pontes de *Mamestra brassicae* sur 3 variétés de *Brassica oleracea* en 1979-80 - Totaux et % -

VARIETE Orientation Face antérieure	ANNEE 1979						ANNEE 1980					
	FRISE		BLANC		ROUGE		FRISE		BLANC		ROUGE	
	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%
N	193	32,01	69	20,12	14	25,45	464	29,02	46	9,07	8	10,13
S	169	28,03	117	34,11	8	14,55	272	17,01	56	11,05	47	59,49
E	151	25,04	34	9,91	18	32,73	560	35,02	152	29,98	4	5,06
W	90	14,93	123	35,86	15	27,27	303	18,95	253	49,9	20	25,32
Total Pontes	603		343		55		1599		507		79	

- Discussion et conclusion -

Les valeurs du rapport P/E qui nous permettent de calculer le coefficient d'agrégation (C.a.) nous montrent aux Tableaux IV-13,15,16,17 et 18 (en annexe), une tendance à avoir des pontes plus grandes chez les variétés frisées et cabus blanc et donc plus agrégées. Ce phénomène, qui comme nous le verrons, est beaucoup plus marqué dans nos tests de laboratoire, donne déjà un bon indice sur un aspect du comportement de Mamestra brassicae vis-à-vis des trois variétés étudiées sur terrain. Il représente aussi la possibilité d'un comportement du type préférence ou non préférence d'après la définition de PAINTER (210).

En deuxième lieu, les pontes ont été dans la quasi totalité, des cas récoltés sur la face postérieure des feuilles (Voir Tableaux IV-13 à IV-18 et Figures 22 à 27). Le comportement géotropique négatif des femelles observé en laboratoire s'accorde parfaitement à ces résultats. D'autre part, la ponte a été trouvée quelques fois sur les tiges et très rarement sur la face antérieure des feuilles. Dans aucun cas, les pontes ont été trouvées sur la tête même des choux.

Ces résultats nous permettent d'établir déjà une partie du modèle du comportement de ponte de Mamestra brassicae en conditions du terrain. La préférence pour la face postérieure des feuilles est évidente sur les trois variétés comparées. Cependant, on doit rappeler les différences en ce qui concerne la taille des pontes, plus petites chez les variétés rouges et définitivement plus grandes chez les variétés frisées (Voir Tableaux IV-33 et IV-35), différences qui ont même été significatives au 0,1 % en 1979 et au 0,01 % en 1980. Le degré de signification entre 1979 et 1980 peut différer en raison peut-être, de la taille des parcelles (nombre de plantes visitées) plus grandes en 1980, ainsi qu'aux densités des populations naturelles de Mamestra brassicae plus élevées en 1980.

L'étude de la distribution des pontes d'après la distance $d = (\text{cm})$ au bord de la feuille (Tableaux IV-19 et IV-21 à IV-31) nous permet de mieux établir notre modèle sur le comportement de ponte. Les résultats de cette étude n'ont pas été hautement significatifs, mais simplement significatifs et en trois occasions non significatifs. Cependant, les histogrammes de la Figure 21 laissent entrevoir une possibilité pour l'acceptation de l'hypothèse du choix d'un lieu de ponte dans un endroit précis de la feuille. Ceci, évidemment, reste encore à être étudié. Nous nous limiterons donc à signaler la Figure 21 comme une description graphique du phénomène de sélection d'une aire pour la ponte par les femelles au niveau de la feuille.

La portée de ces résultats peut être immense sur deux plans principalement :

D'une part, sur l'aspect de la détection et l'évaluation des niveaux d'infestation de Mamestra brassicae : si nous prenons en considération l'aspect de préférence pour la face postérieure des feuilles, on a une réduction de 50 % de la surface foliaire de culture à reviser ; dès lors, le temps et l'efficacité des travaux de détection seront favorables à une bonne planification des dates de contrôle direct (application d'insecticides par exemple).

D'autre part, sur l'aspect de l'amélioration des techniques d'application d'insecticides, on pourra songer à des pulvérisations dirigées vers l'endroit précis où l'infestation a lieu (notamment dans l'usage d'ovicides ou de libération de parasites des oeufs).

Les résultats de la distribution de la ponte sur les feuilles situées entre 15° et 45° du plan vertical de la plante-hôte, nous permettent finalement de compléter notre modèle de la plante de chou, tel que Mamestra brassicae la "détecte" et ne nous laisse pas de doutes sur l'hypothèse de choix du lieu de ponte par les femelles d'après des paramètres définis qui ont à voir avec la variété, la position des feuilles (d'après l'angle d'insertion des feuilles) et la surface de la plante-hôte.

En ce qui concerne l'explication du phénomène lui-même, nous n'avons pas eu l'occasion de l'étudier. Cependant, l'importance de déceler les mécanismes en cause est indiscutable sur le plan de la modification du comportement des espèces nuisibles.

Nous pouvons seulement mettre en considération des hypothèses sur tel comportement chez Mamestra brassicae. D'abord, un rapport entre la présence de substances attractives dans la face postérieure des feuilles ou même de substances répulsives à la face antérieure-CHAPMAN, FINCH, en LLAVEYRIE (154) ; et ensuite, la recherche d'un abri pour la réalisation de la ponte et même un phénomène de territorialité vis-à-vis d'autres espèces qui font leur ponte au recto foliaire. [Plutella maculipennis et Trichoplusia ni par exemple (98).]

La surface antérieure des feuilles est aussi très souvent couverte de cire et de fines gouttelettes de rosée qui deviennent avec le vent et la gravité, des grosses gouttes pouvant gêner les papillons en train de pondre.

Nous pouvons a priori dire que la territorialité et la recherche d'un abri pour les pontes (abri dans le sens vaste du terme) sont les facteurs principaux expliquant nos résultats. Néanmoins, cette explication reste à être vérifiée.

De toutes façons, avec ou sans explication du phénomène, cela permettra une grande économie de temps et de main-d'oeuvre dans la détection de Mamestra brassicae sur le terrain. La recherche des pontes peut être ainsi plus rapide, dirigée et efficace. De plus, on peut envisager l'utilisation de pulvérisations dirigées sur les lieux de ponte au lieu des applications normales qui souvent n'arrivent pas à toucher la cible.

c- Comportement de ponte de Mamestra brassicae en
conditions de laboratoire -

La ponte différentielle de Mamestra brassicae observée sur les 3 variétés de Brassica oleracea sur le terrain, nous ont suggéré d'étudier en laboratoire le comportement de l'espèce face aux paramètres possibles pouvant déterminer ce comportement. La texture, la couleur et l'odeur du substrat de ponte.

i- Influence de la texture de support sur le comportement de ponte de Mamestra brassicae -

- Matériel et méthodes -

Dans ce test préliminaire, 3 groupes de 16 femelles gravides, âgées de plus de 72 heures, ont été placées dans des pondoirs de surface, soit lisse, soit rugueuse, soit pileuse. Les surfaces ont été préparées en tapissant les parois des pondoirs avec du papier Joseph. La surface pileuse a été obtenue à l'aide d'une brosse métallique et en frottant le papier dans un seul sens afin d'obtenir une surface velue et uniforme (Voir Photo 17). La ponte de 4 femelles par boîte a été recueillie au terme de 5 jours et comparée pour les 3 types de surface. Ces résultats - Tableaux IV-51 - ont été à la base de la réalisation d'une expérimentation plus élaborée qui suit.



Photo 17 - Surfaces : Lisse, corruguée et velue pour
l'étude du comportement de ponte de
Mamestra brassicae L.

TABLEAU IV-51 Résultats d'un test préliminaire sur la ponte de Mamestra brassicae sur 3 surfaces à textures différentes au laboratoire (1)(2) après 5 jours d'observation (3)

Type de Surface		I	II	III	IV	$\bar{X}$	$\bar{X}/\bar{Q}$
Lisse	Oeufs	6935	5021	5740	6200	5974	1493,5
	Pontes	95	92	58	64	77,25	19,31
Rugueuse	Oeufs	8319	7912	6500	7430	7540,2	1885,1
	Pontes	52	50	41	48	47,75	11,94
Pileuse	Oeufs	7819	8401	7323	6800	7585	1896,4
	Pontes	50	69	48	63	57,5	14,38

(1) 4 femelles par boîte et par surface

(2) Chaque répétition comportait 3 boîtes, chacune à surface différente

(3) Climat type B (selon le Tableau III-5).

Les valeurs au coefficient d'agrégation ont été calculées sur la base des données de la colonne ($\bar{X}/\bar{Q}$) au Tableau IV-51 :

C.a. S. lisse = 0,74

C.a. S. rugueuse = 0,87

C.a. S. pileuse = 0,85

En effet, on n'observe pas de grandes différences entre les valeurs C.a. mais afin de mieux étudier un possible effet de choix de la surface, on a mis en route l'expérience qui suit.

ii- Expérience sur le comportement sélectif de la ponte de Mamestra brassicae face à 3 surfaces à texture différente -

- Méthode -

Le but de l'expérience a été de déceler une préférence possible des femelles en train de pondre face à des surfaces à texture différente. L'expérience préliminaire (Tableau IV-51) confrontait des femelles à une seule surface chaque fois. Dans ce cas-ci, 3 surfaces différentes ont été disponibles dans le même pondoir, et nous avons comparé les valeurs de la ponte totale exprimée en nombre d'oeufs et de pontes (Plages) collectées pour chaque surface. Les conditions microclimatiques ont été du type C (tableau III-5) pendant le déroulement de l'expérience qui a duré 5 jours.

Les individus utilisés provenaient de notre élevage ($F_8 \times F_0$). On a confiné 4 femelles gravides, de plus de 72 heures d'âge par pondoir. Les pondoirs ont été tapissés à la surface intérieure du couvercle avec du papier Joseph. La surface a été traitée de manière à avoir 1/3 de chaque texture (Voir Photos). Les résultats ont été soumis à l'analyse de la variance et les moyennes comparées à l'aide du test de t de DUNCAN.

- Résultats -

Les résultats de nos observations sont résumé au Tableau IV-52. Les valeurs du coefficient C.a. pour les 3 traitements nous indiquent que la surface rugueuse a la valeur plus grande, suivie de la surface lisse. L'agrégation des pontes en surface velue est très faible : C.a. = 0,27.

En plus de ce résultat, nous avons analysé les données du Tableau IV-52 dans deux analyses séparées, l'une pour les oeufs et l'autre pour les pontes.

Les résultats de ces analyses sont présentées aux Tableaux IV-53 et IV-54.

TABLEAU IV - 52 - Comportement de ponte de Mamestra brassicae en laboratoire,
face à 3 textures différentes
(L = lisse ; R = rugueuse ; P = pileuse) après 5 jours d'observation

PONDOIR (1)	1	2	3	4	5	6	$\bar{X}$	C.a.*	δ^{**} (0,1%)(0,1%)
SURFACE									
L Oeufs	1851	2183	2090	2312	1875	2316	2104,5	0,78	205,47 b 6,47 b
Pontes	25	17	18	23	35	22	23,33		
R Oeufs	3422	3992	4033	4126	5026	4973	4261,83	0,91	622,44 a 3,33 b
Pontes	18	16	18	19	25	16	18,67		
P Oeufs	340	284	506	481	620	597	471,33	0,27	135,30 c 3,58 a
Pontes	28	27	34	29	35	27	30		

* Coefficient d'agrégation selon $1 - \frac{P\bar{X}}{E\bar{X}}$ (20)

(1) 3 surfaces par pondoïr, 4 femelles par pondoïr

** Les chiffres suivis d'une lettre commune ne sont pas significativement différents au seuil noté en haut de la colonne

TABLEAU IV - 53 - Analyse de la variance pour le nombre d'oeufs pondus
par femelle sur chaque surface

Source de variation	Somme des carrés	G.L.	C.M.	F	Degré de Signification
Entre traitements	43.378.421,51	2	21.689.210,76	145,26	H.S.
Res. Erreur	2.239.751,60	15	149.316,77		
TOTAL	45.618.173,11	17			

TABLEAU IV-54 Analyse de la variance pour le nombre moyen de pontes par femelle dans chaque surface

Sources de variation	Somme des carrés	G.L.	CM	F	Degré de signification* (0,01 %)
Entre traitements	389,33	2	194,67	8,88	H.S.
Res.Erreur	328,67	15	21,91		
TOTAL	718,00	17			

* H.S. = Hautement significatif

Les résultats des analyses indiquent une ponte plus nombreuse en nombre d'oeufs sur les surfaces rugueuses, ce résultat parle en faveur et en accord avec les résultats observés sur terrain sur la variété frisée.

De même, la surface pileuse reste en dernière place après la surface lisse en ce qui concerne le nombre d'oeufs. Pour ce qui concerne le nombre total de pontes, c'est la surface pileuse qui détient la première place; évidemment, un plus grand nombre de pontes veut dire un coefficient d'agrégation faible.

En conclusion, on peut dire que les femelles préfèrent les surface rugueuses où l'oviposition devient plus agrégée. Ce comportement est à retenir lors de recherches visant à perturber la ponte de Mamestra brassicae, notamment dans le cadre de l'utilisation de variétés résistantes au ravageur.

iii- Rôle de la couleur dans le choix du lieu de ponte
de Mamestra brassicae -

Malgré la littérature consultée assez décourageante dans un tel sens de recherche, nous avons entrepris une expérience visant à déceler un effet possible de la couleur sur le choix de l'hôte, la plante-hôte par Mamestra brassicae, et cela en raison des différences de couleur assez évidents qui existent entre les variétés de Brassica oleracea étudiées et de la préférence évidente de Mamestra brassicae pour les variétés vert et frisé sur la variété rouge.

- Méthode -

Les pondoirs ont été cette fois-ci tapissés avec du papier à quatre couleurs (rouge, blanc, vert, jaune) et les pontes y cueillies ont constitué le paramètre servant à comparer l'attraction de chaque couleur vis-à-vis des femelles, placées à raison de 3 par pondoir (Climat B selon Tableau III-5). Les pontes totales par couleur ont été dénombrées au bout du cinquième jour .

- Résultats -

Les résultats sont donnés ci-après (Tableau IV-55). Les moyennes d'oeufs par couleur ont été soumises à l'analyse statistique montrée au Tableau IV-56.

TABLEAU IV - 55 - Ponte de Mamestra brassicae d'après la couleur de la surface de support des pondoirs - Nombre d'oeufs

Boite	Couleurs				
	Rouge	Blanc	Vert	Jeune	Oeufs/ ♀
1	930	2402	1832	1022	2062
2	1236	1028	982	2411	1885,67
3	2031	799	2018	1213	2020,33
4	1000	1987	1326	1506	1939,67
5	2002	1540	1003	1056	1867,00
6	2062	820	2004	1248	2044,67
Σ	9261	8576	9165	8456	
$\bar{X}$ /Oeufs/ couleur	1543,5	1429,3	1527,5	1409,3	
$\delta =$	544,62	663,17	484,49	520,02	
Répartition en % de la ponte totale par couleur	26,12%	24,19%	25,85%	23,85%	Total oeufs pondus 35458

TABLEAU IV - 56 - Analyse de la variance des moyennes d'oeufs pondus par couleur

Source de variations	Sommes des carrés	G.L.	C.M.	F.	Degré de Signif.
Traitements	82.936	3	27645,39	0,09	N.S.
Rés. Erreur	6.207.809,66	20	310390,48		
TOTAL	6.290.745,83	23			

N.S. = non significatif

D'après les résultats de l'analyse précédente, il n'existe pas de différence entre la quantité d'oeufs pondus dans les quatre surfaces à couleur différente. Cela nous indique la petite importance qu'a la couleur sur le plan de l'attraction de la plante-hôte envers les femelles, dans nos conditions.

iv- Expérimentation sur le comportement de ponte de Mamestra brassicae face à des surfaces à texture différente et imprégnées d'extraits de trois variétés de Brassica oleracea -

Afin de mieux déceler les différentes approches sur le comportement de Mamestra brassicae vis-à-vis des surfaces de ponte, et étant donné que les résultats sur le terrain nous indiquent une certaine attraction pour des surfaces rugueuses et que d'autre part, la couleur ne s'est pas avérée être un facteur important vis-à-vis du comportement de ponte de Mamestra brassicae en laboratoire et que les résultats n'étaient pas concluants pour ce qui concerne la combinaison de texture plus plante-hôte, nous avons préparé l'expérimentation dont le dessin est expliqué à l'aide du Tableau IV-57.

Trois femelles ont été placées par pondoir et leurs pontes ont été dénombrées au bout du 5ème jour. Un microclimat de type B (selon Tableau III-5) a été utilisé.

Neuf combinaisons possibles ont ainsi été établies. Trois surfaces x trois plantes-hôtes. Les pondoirs (3000c.c.) ont été tapissés avec du papier buvard, soit lisse, soit corrugué (Voir Photo 17), soit velu à l'aide d'une brosse métallique.

Les boîtes ainsi préparées ont été imprégnées d'extraits frais obtenus des feuilles des 3 variétés (rouge, vert, frisé), puis filtrés et pulvérisés jusqu'au point de saturation avec un pulvérisateur manuel (Spraymatic®). Pour l'obtention des extraits, 3 feuilles de chaque variété ont été macérées dans 500^{cc} d'eau distillée. Chaque jour, une pulvérisation dans les pondoirs était

répétée afin de maintenir un degré de saturation convenable.

Des tests préalables nous ont indiqué que la ponte est mise de préférence près de l'entrée de la source d'odeur. C'est pourquoi, nous avons préféré le système d'imprégnation des feuilles de papier afin d'avoir une distribution homogène des pontes et empêcher une éventuelle concentration des femelles près des entrées d'air dans le cas de l'utilisation de l'appareillage schématisé à la Figure 18.

TABLEAU IV-57 Distribution et numérotation des traitements pour l'étude du comportement de ponte de Mamestra brassicae face à trois sources d'odeur et trois surfaces en combinaison (3 x 3) *

Variété Surface			
	Chou rouge	Chou blanc	Chou frisé
Lisse	1	2	3
Rugueuse	4	5	6
Pileuse	7	8	9

* Chaque traitement comportait 3 boîtes et 3 répétitions
Voir Tableau suivant (IV-58).

On a utilisé au total, 27 x 3 femelles par répétition et 3 répétitions par traitement, c'est-à-dire 243 femelles pour l'expérience.

Vu le nombre important d'individus requis, on a dû étaler l'expérience dans le temps. La répétition I a été faite 5 jours avant les répétitions II et III, temps qui a été nécessaire pour compléter le nombre de femelles requises pour nos tests.

- Résultats -

Nos résultats sont résumés aux Tableaux IV-58 et IV-60. Au Tableau IV-59, nous présentons l'analyse de la variance et les résultats du test de t de DUNCAN pour la comparaison des moyennes.

TABLEAU IV-58 - Résultats globaux de ponte par Mamestra brassicae sur 9 traitements
résultat des combinaisons de surface et macérés de 3 plantes-hôtes
en laboratoire

*	Traitement	Boîte (1)	I	II	III	$\bar{X}$	Ca. $\bar{X}$	ordre
c.d.	1	1	2148	3684	2867	2515,44	0,66	5
		2	2079	2098	2913		0,71	
		3	1973	3002	1876		0,63	
c.	2	4	3968	4154	3790	3466,78	0,75	3
		5	2580	3263	2918		0,71	
		6	2900	4691	2937		0,69	
a.b.	3	7	4980	6321	4892	5270,11	0,80	2
		8	5172	6473	4996		0,76	
		9	3819	5825	4953		0,73	
c.	4	10	2497	2526	3862	3095,11	0,72	4
		11	3768	2437	2697		0,74	
		12	3021	3024	4024		0,65	
a.b.	5	13	3729	4892	5321	4797,67	0,84	1
		14	5812	5971	4844		0,83	
		15	2934	4916	4760		0,90	
a.	6	16	4815	7128	6424	6077,67	0,80	1
		17	5976	6412	6512		0,79	
		18	6018	5993	5421		0,87	
d.	7	19	1984	1462	1003	1498,0	0,54	6
		20	1012	1501	989		0,11	
		21	807	2612	2112		0,20	
d.	8	22	2232	2539	1906	1910,22	0,24	7
		23	1225	2721	2432		0,29	
		24	1964	1120	1053		0,38	
d.	9.	25	2486	1310	1048	1601,33	0,41	6
		26	1931	2430	1184		0,33	
		27	912	2142	996		0,36	

(1) 3 femelles par boîte

(2) Moyenne du traitement

* Traitements précédés d'une lettre ne diffèrent pas significativement
au seuil 0,5 % - Test de t Duncan

** Coefficient d'agrégation calculé d'après la formule proposée

Ca = $1 - \frac{P}{E}$ (20) au Chapitre III-C-1

TABLEAU IV-59- Analyse de la variance et test de t Duncan pour l'étude de 9 combinaisons (variété + texture) face à la ponte de Mamestra brassicae

Sources de variation	Somme des carrés	G.L.	C.M.	F.	Degré de Sign. 0,01%
Entre traitements	202.925.036,30	8	25.365.629,54	50,44	
Résid.Erreur	36.210.536,00	72	502.924,11		
TOTAL	239.135.572,30	80			
Traitement	$\bar{X}$	δ	Classification selon le test de t *		
1	2515,44	621,09	c.d.		
2	3466,78	712,18	c.		
3	5270,11	819,86	a.b.		
4	3095,11	631,22	c.		
5	4797,67	956,64	a.b.		
6	6077,67	668,04	a.		
7	1498,00	619,81	d.		
8	1910,22	638,38	d.		
9	1604,33	640,03	d.		

* Les moyennes suivies d'une lettre commune ne sont pas significativement différentes au seuil 0,5 % (au moins).

TABLEAU IV-60- Totaux des pontes de Mamestra brassicae sur les 9 combinaisons (surfaces+odeur) comparées

	CHOU ROUGE	CHOU BLANC	CHOU FRISE	GT
S. LISSE	boîtes 1,2,3 = T	Σ 4,5,6 = T	Σ 7,8,9 = T	
	I = 6200	I = 9448	I = 13971	
	II = 8784	II = 12108	II = 18619	
	III = 7655	III = 9645	III = 14841	
	22639	31201	47431	101271
S. RUGUEUSE	Σ 10,11,12 = T	Σ 13,14,15 = T	Σ 16,17,18 = T	
	I = 9286	I = 12475	I = 16809	
	II = 7987	II = 15779	II = 19533	
	III = 10583	III = 14925	III = 18357	
	27856	43179	54699	125734
S. PILEUSE	Σ 19,20,21 = T	Σ 22,23,24 = T	Σ 25,26,27 = T	
	I = 3803	I = 5421	I = 5329	
	II = 5575	II = 6380	II = 5882	
	III = 4104	III = 5391	III = 3228	
	13482	17192	14439	45113
	GT = 63977	91572	116569	

T = Total
GT = Grand total

Au vu du Tableau IV-59, il nous a été possible d'établir un ordre d'importance des pontes (nombre d'oeufs) d'après les traitements .

Trois groupes peuvent être établis ainsi :

3-5-6 > 1-4-2 > 1-7-8 et 9.

Le traitement 1 peut être classé dans 2 groupes en raison du résultat du Test de t.

- Au premier groupe, on peut encore établir deux sous-groupes:

6 > 5-3

- Au deuxième groupe 4 et 2 > 1

- Et au troisième groupe 1 > 7-8 et 9.

Cela veut dire que la variété frisée a été deux fois dans le premier groupe, c'est-à-dire qu'en présence de surface lisse et de surface rugueuse, elle a toujours été préférée pour la ponte de Mamestra brassicae .

Les surfaces lisses et rugueuses ont primé sur les surfaces velues (Voir aussi GT au Tableau IV-60).

Les traitements 1-4 et 2 nous indiquent que la surface lisse a été choisie deux fois plus que la rugueuse.

Les traitements 1,7,8 et 9 (surfaces pileuses) sont les moins préférées pour la ponte (Voir Tableau IV-60).

Ceci nous permet de penser que c'est l'odeur , le facteur primaire attirant les femelles pour la ponte, mais c'est la texture de la surface de ponte qui rend effectif le choix par Mamestra brassicae. Le coefficient d'agrégation C.a. $\bar{x}$ observé nous permet d'établir un ordre décroissant dans les traitements; ainsi : 5,6,3,2,4,1,7,9 et 8.

A nouveau, les résultats du coefficient d'agrégation vérifient les résultats de l'analyse statistique selon la liste qui suit :

Ordre d'importance de la ponte d'après nos résultats analysés au moyen du test de Duncan

TRAITEMENT		CLASSIFICATION
Variété	Texture	
Vert	Frisée	1ère
Vert	Lisse	2 ou 1ère
Cabus blanc	Lisse	2 ou 1ère
Cabus blanc	Lisse	3 ou 1ère
Rouge	Lisse	3 ou 4ème
Rouge	Frisée	3ème
Rouge	Lisse	4ème
Rouge	Velue	4ème
Cabus blanc	Velue	4ème
Vert	Velue	4ème

La variété vert à texture frisée serait la combinaison plus attirante et cela confirme en laboratoire nos observations réalisées sur terrain concernant la préférence de Mamestra brassicae pour les variétés (rugueuses) frisées ou cabus blanc.

- v- Comportement de réponse des mâles à l'appel des femelles de Mamestra brassicae face à trois sources d'odeur différentes (3 variétés de Brassica oleracea)-

- Introduction -

Nos observations sur le terrain nous font penser qu'il y aurait un ordre de préférence de Mamestra brassicae pour certaines variétés. Cela ressort facilement de l'observation des niveaux de population dénombrés sur les 3 variétés lors des études de la ponte sur terrain.

Nous avons voulu vérifier ces résultats dans le laboratoire mais dans le but de compléter l'information sur le comportement d'accouplement de Mamestra brassicae. Si la plante-hôte est sélectionnée, pourquoi pas l'endroit de l'accouplement et d'autre part, quel pourrait être le rôle de la plante-hôte sur la réponse des mâles à l'appel des femelles et ensuite, quelle peut être l'influence que l'odeur de la plante-hôte peut avoir sur les femelles gravides à la recherche d'une surface de ponte ?

- Méthode -

Deux dispositifs expérimentaux ont été installés (Figures 29 et 30) dont les schémas servent à expliquer la méthodologie qui est décrite ci-après :

Les tubes A , en verre à 5' cm de $\varnothing$ pourvus d'un orifice de ventilation à 2 cm de $\varnothing$ et un orifice d'entrée à 1 cm de $\varnothing$ étaient reliés par des tuyaux en polystyrène flexible au flacon C , contenant deux femelles ; celles-ci, vierges, âgées de 72 heures servant à produire la source de phéromone attirant les mâles.

Intercalés entre les tubes à mâles A et le flacon aux femelles C , on a placé des flacons B contenant des feuilles fraîches des 3 variétés de Brassica oleracea en étude. Ces feuilles plongées dans l'eau déminéralisée ont constitué les 3 traitements à comparer vis-à-vis du comportement des mâles, qui est mesuré d'après le nombre d'individus piégés dans la section b des tubes à mâles , après 24 heures.

FIGURE 29 - Schéma montrant le dispositif utilisé pour l'expérience

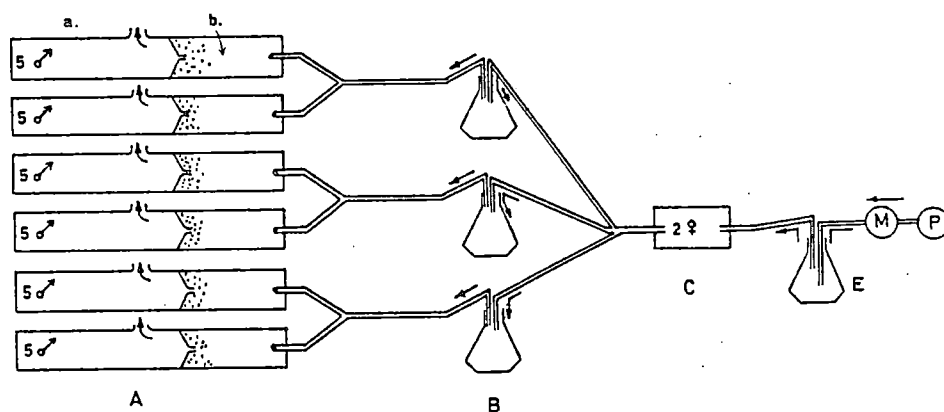


Schéma de la disposition de l'appareillage destiné à l'étude du comportement des imagos de M. brassicae vis-à-vis de trois variétés de B. oleracea L.

A: tubes à mâles B: sources d'odeur (3 variétés) C: flacon aux femelles

E: humidificateur de l'air M: manomètre P: air sous pression constante (pompe foulante)

b: piège à mâles

La circulation de l'air à travers le système, était assuré par un débit constant d'air comprimé produit par une pompe foulante , P , qui souffle ainsi les odeurs des différentes variétés à une pression constante de 0,025 bar, calibrée à l'aide d'un régulateur.

Entre la source d'air P et le flacon C, nous avons placé un flacon E contenant de l'eau déminéralisée pour favoriser le transport des émanations de phéromone à travers le système.

Remarquons qu'en E, un bouillonnement de l'eau est provoqué par la source d'air, tandis qu'en B, nous n'avons pas voulu causer un tel bouillonnement afin d'éviter un piégeage possible de la phéromone (au moins partiel) dans l'une ou l'autre des solutions. Nous pensons que le mélange d'odeurs est assez suffisante de la sorte et que de toutes manières, les mâles seront soumis à 3 combinaisons d'odeurs différentes, selon la variété utilisée plus la phéromone.

L'expérience a été répétée trois fois, avec renouvellement des mâles et des femelles à chaque essai.

- Résultats -

Les résultats sont montrés au Tableau IV-61 :

TABLEAU IV-61 - Nombre total de mâles de Mamestra brassicae ayant été piégés (réponse positive) après 24 heures d'expérience, sur 10 individus par variété et par répétition en laboratoire

VARIETES	I	II	III	TOTAL	%
Frisé	9	8	10	27/30	90
Blanc	10	8	7	25/30	83,3
Rouge	9	9	8	26/30	86,7

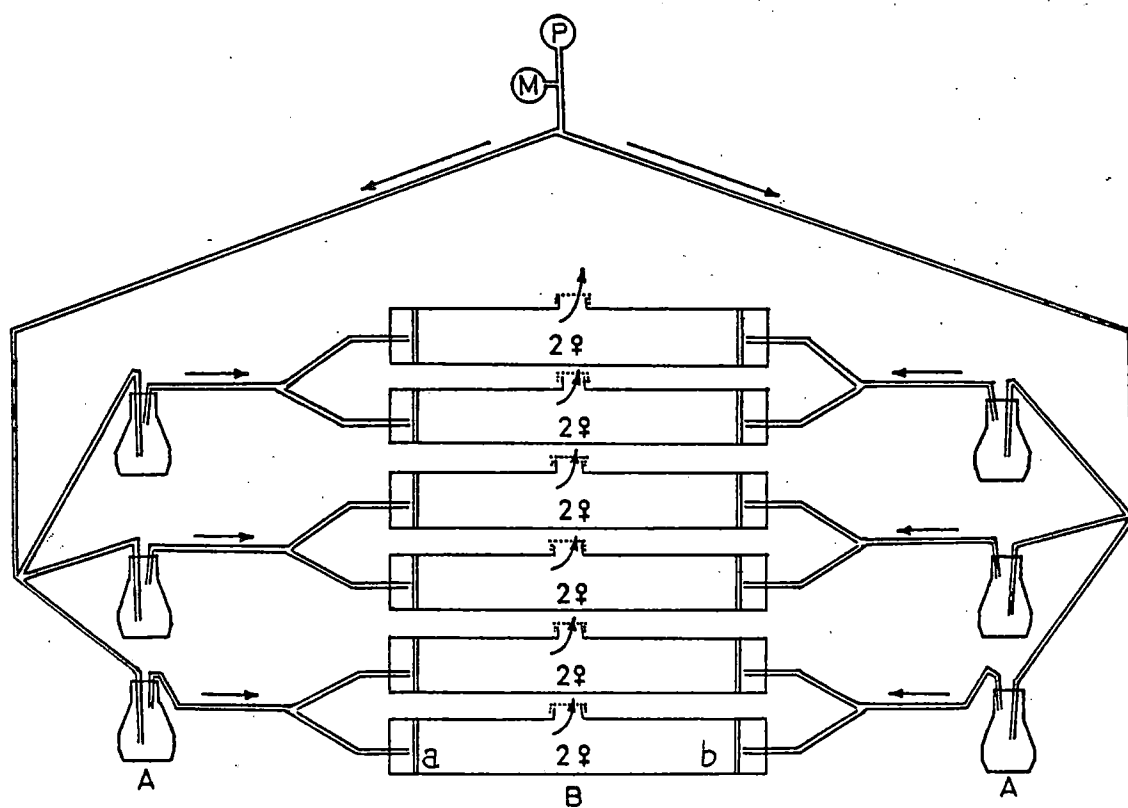
Les différences entre les réponses n'étant pas statistiquement significatives, nous estimons que même si l'on ne peut pas écarter un effet stimulant de la variété vis-à-vis des individus et leur comportement, il ne semble pas que la réponse des mâles soit stimulée ou altérée par la présence d'une des trois variétés étudiées lorsqu'on travaille dans nos conditions.

Les variétés constituent des sources d'odeur comparativement similaires, servant peut-être à déterminer un lieu de rencontre (en serre, les pontes ont toujours lieu sur les choux et jamais sur les herbes) des individus, mais c'est la phéromone en définitive qui va déterminer la réponse des mâles.

Le choix d'une surface de ponte d'après son odeur reste à vérifier. Une expérimentation a été menée pour essayer de répondre à cette question.

vi - Comportement de ponte de Mamestra brassicae en surfaces imprégnées avec l'odeur de 3 variétés différentes -

Dans cette expérience, à l'aide du dispositif schématisé à la Figure 30, nous avons comparé la ponte totale (nombre d'oeufs) de 36 femelles sur 3 surfaces (rugueuses) ayant été imprégnées avec une source permanente de 3 variétés de B. oleracea. L'imprégnation permanente obéit à notre souci d'améliorer la méthode d'imprégnation par pulvérisation qui ne garantit pas toujours une homogénéité et résidualité des traitements.



re 30. Appareillage pour l'étude du comportement de ponte de *Mamestra brassicae* L.
face à trois variétés de *B. oleracea* en laboratoire.-

Même si un bon nombre de pontes est observé sur les parois des tubes, la majorité des pontes se localisait vers les extrémités a ou b des tubes B. , mais en tout cas, toujours sur la surface en papier offerte soit en a ou en b , fixée à l'aide d'un bouchon parafiné , celui-ci servant à la fois de couvercle des tubes. (Fig 30.)

Les disques de papier destiné à récupérer les oeufs étaient percés à l'aide d'une épingle fine (001) à raison de 50 trous, pour permettre facilement le passage de l'air.

On a placé 2 femelles gravides par tube B et 36 heures après, les pontes récoltées sur les papiers a et b, ont été dénombrées.

L'expérience a été faite trois fois avec 2 femelles par tube, chaque fois.

Au Tableau IV-62, nous pouvons observer les résultats obtenus. La souche de Mamestra brassicae utilisée a été (F9 x Fo) mise dans des conditions climatiques du type B (Tableau III-5).

TABLEAU IV-62 Comportement de ponte de Mamestra brassicae face à 3 sources d'odeur en provenance de 3 variétés de B.oleracea en laboratoire

Variétés comparées	Nombre d'oeufs			total Σ	$\bar{X}$
	I	II	III		
Rouge et Cabus blanc	100	69	2	171	57
Cabus blanc et Frisé	320	430	512	1262	420,67
Rouge et Frisé	520	122	201	843	281
Cabus blanc et Frisé	372	801	79	1252	417,33
Rouge et Cabus blanc	10	72	21	103	34,33
Cabus blanc et Frisé	712	501	479	1692	564

- Discussion et conclusion -

Au vu du Tableau IV-62, il ressort une préférence de Mamestra brassicae pour les traitements cabus blanc et frisé, si l'on tient compte de la ponte beaucoup plus nombreuse sur les surfaces imprégnées des sources en question.

La simple comparaison des paires de moyennes des pontes (nombre d'oeufs) sur les traitements permet d'établir un ordre de préférence ainsi :

Cabus blanc	>	rouge
Cabus blanc	≈	frisé
Frisé	>	rouge

Donc, la variété rouge serait moins recherchée et les différences entre les variétés frisée et cabus blanc seraient trop petites du point de vue attirance vis-à-vis de Mamestra brassicae. Ces différences vont se voir augmentées lors de la combinaison ODEUR + TEXTURE, tel qu'il a été montré dans les expériences précédentes (Tableaux IV-58, 59).

Ces derniers résultats nous permettent aussi de mieux interpréter les résultats de la ponte de Mamestra brassicae observée sur le terrain, beaucoup plus nombreuse sur les variétés frisées et cabus blanc (Voir Figures 22 à 27).

En effet, de tels résultats sont vérifiées par notre expérimentation finale et c'est ainsi que nous pourrions affirmer que le terrain de culture de Brassica oleracea sert de lieu de rencontre des individus. Ceci ressort de la grande abondance d'oeufs sur les parcelles et de la présence nulle de Mamestra brassicae sur les herbes dans et en-dehors des parcelles.

En deuxième lieu, c'est la phéromone sexuelle, le facteur qui va déterminer l'endroit précis de l'accouplement et même l'heure précise pour qu'il soit accompli.

Nos observations de laboratoire nous permettent de croire que les émissions de phéromone doivent débuter entre les 20 et 24 heures. Cependant, des facteurs variables tels que la température, l'humidité relative, le vent, etc... peu ou non étudiés, peuvent induire des variations, encore à préciser, sans que pour autant, à notre avis, les décalages par rapport à nos résultats ne soient trop importants si l'on respecte nos conditions.

Du fait de n'avoir jamais eu l'occasion de trouver sur le terrain des individus en train de s'accoupler, cela nous induit à penser que l'accouplement peut avoir lieu à proximité du terrain lui-même. Notre affirmation est valable pour ce qui concerne l'accouplement pendant le jour. Sur plus de 15.000 plants visités, nous n'avons rencontré dans aucun cas, des imagos en train de s'accoupler.

Donc, si l'accouplement a lieu sur la culture elle-même, cela ne se passe pas pendant la journée. Mais si cela arrive sur la culture et pendant la nuit, il est curieux de n' avoir trouvé aucun couple même en début de journée et étant donné que dans le laboratoire, nous avons observé des accouplements d'une durée de plus de 24 heures.

En troisième lieu, il ressort de nos observations que d'abord la variété et ensuite la texture de la surface de ponte ont un rôle important sur le comportement des femelles en train de pondre. Elles seront donc attirées d'abord par le type de variété et ensuite, le choix du lieu de ponte se fait d'après la texture de la surface.

Les différences parfois très importantes dans la taille des pontes trouvées dans la nature par rapport à celles pondues dans le laboratoire (celles-ci étant beaucoup plus grandes - Voir Photos 1.8-D) pourraient être expliquées du fait des conditions favorables du laboratoire en ce qui concerne l'inexistence de facteurs qui puissent déranger les femelles pondeuses, vent, pluie, prédateurs, rosée, changements brusques de T° et humidité, etc...

Finalement, les expériences sur le terrain concernant la localisation précise des pontes sur la plante-hôte nous permettent de connaître l'endroit idéal dans des conditions naturelles, pour que Mamestra brassicae place sa ponte.

En effet, les feuilles situées entre 15 et 45° sont les "préférées" mais aussi le verso des feuilles et la région des feuilles entre 2 et 6 cm de la bordure. Ceci peut s'expliquer par plusieurs facteurs.

En premier lieu, les feuilles trop basses sont toujours les plus âgées, une condition organoleptique non idéale pour les jeunes chenilles. D'autre part, elles sont à proximité du sol, des prédateurs et en tout cas, des éclaboussures lors de pluies ou d'arrosages d'aspersion et loin de la partie la plus fraîche du chou, ce qui rendrait difficile la survie des jeunes chenilles.

En deuxième lieu, les feuilles trop verticales n'offrent pas un abri (au vent et à la pluie) intéressant pour une ponte aisée, mais en tout cas, il est possible que les femelles ne pondent pas du fait d'être dérangées par des éventuels coups de vent et la présence de la rosée matinale. De plus, le comportement lucifuge des imagos permet de comprendre cette préférence pour la surface des feuilles moins exposées à la lumière (verso foliaire). Notons que l'on ne pourrait pas dire que la ponte a lieu sur le verso de la feuille pour échapper à la lumière étant donné que la ponte se fait pendant la période d'obscurité, mais qu'il y aurait d'abord un facteur géotropique en cause et aussi la présence de substances volatiles dérivées des glucosinonates notamment, très caractéristiques de la famille des Cruciferae, produits qui, par un processus d'hydrolyse enzymatique produisent des isothiocyanates, très attractifs pour des espèces tels que Pieris brassicae L., Pieris rapae L., Plutella maculipennis (Curt), d'après KJAER 1963 cité par FINCH 1976 (154).

Donc, le choix de l'endroit précis pour la réalisation de la ponte pourrait être déterminé par la teneur ou mieux, par la concentration

des odeurs émanant de la plante-hôte (les concentrations des isothiocyanates en général sont inférieures à $500 \mu\text{g/g}$ de feuille d'après FINCH (154)).

En conclusion, nous avons pu préciser en laboratoire le comment, le quand dans l'accouplement et le lieu de la ponte sur le terrain chez Mamestra brassicae. Ceci est une information que nous croyons très utile dans l'établissement de programmes de lutte contre ce ravageur des cultures maraîchères.

L'intérêt de pouvoir déterminer la localisation de la ponte aurait toute son ampleur lors des travaux d'estimation des niveaux d'infestation et des seuils économiques, d'importance reconnue dans des programmes de lutte intégrée.

vii - Expérience sur l'oviposition de Mamestra brassicae L.
dans le temps en laboratoire -

Outre les études de préférence des femelles et des mâles vis-à-vis des textures variables lors de la ponte ou vis-à-vis des sources d'odeur ou face à des couleurs, à des variétés différentes, etc... il importait aussi de savoir quel est le rythme de cette ponte, c'est-à-dire, comment la ponte est déposée sur les substrats dans le temps et dans nos conditions.

- Méthode -

Cette expérience d'observation a été réalisée avec 15 femelles gravides, âgées de 50-60 heures dans des conditions climatiques du type C (voir Tableau III-5). Les femelles ont été placées isolées dans nos pondoires à 3000 cc (Photo 10.A) tapissées avec du papier Joseph rugueux.

L'expérience a dû être interrompue au bout de 4 jours pour des raisons forcées ; une panne dans le thermostat a altéré nos conditions microclimatiques.

- Résultats -

Les résultats de cette expérience sont résumés au Tableau IV-63.

TABLEAU IV-63 - Ponte au cours de 4 jours d'observation
($22^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 75 % H.R. 16 : 8/L;O)

Heures	O-24	24-48	48-72	72-96	
Femelle					
1	82	550	230	194	1056
2	84	620	632	528	1864
3	150	392	252	641	1435
4	97	998	361	418	1874
5	41	1095	485	514	2135
6	149	802	426	431	1808
7	120	412	60	54	646
8	193	821	189	217	1420
9	10	916	324	431	1681
10	201	423	670	364	1658
11	205	807	155	206	1373
12	118	680	587	436	1821
13	20	902	1091	221	2234
14	95	830	96	323	1344
15	36	988	577	108	1709
TOTAL	1601	11236	6135	5086	24058
$\bar{X}$	106,73	749,07	409,0	339,07	$\bar{X}$ 1603,87/Q ♀
%	6,65	46,7	25,5	21,14	

Au vu du tableau précédent (IV-63), nous pouvons constater que la ponte du premier jour n'est pas la plus abondante, soit à cause de la nécessité d'une période de maturation préalable à la ponte, soit par la nécessité de la femelle de "s'adapter" au milieu du laboratoire.

La vie imaginale de Mamestra brassicae peut varier de 5 à 8 jours et aller jusqu'à 2 ou 3 semaines, principalement en fonction de la température (32). Les températures élevées raccourcissent la longévité, mais favorisent dans des limites favorables, une

ponte rapide et homogène (32). Les températures basses élargiront la période de ponte.

Dans nos conditions, au bout de 48 heures, nous avons obtenu la ponte la plus abondante si l'on compare les moyennes par jour et par femelle et surtout les pourcentages de ponte par jour sur la totalité des échantillons étudiés (Voir Figure 31).

Ceci nous permet de confirmer que la ponte la plus nombreuse s'obtient en tout cas après 24 heures depuis l'accouplement et jamais pendant la période de 0 à 24 heures.

Dans la pratique, cela voudrait dire que lors des infestations sur le terrain et par des conditions de températures élevées (24°C), les femelles de Mamestra brassicae iront pondre leur plus grand nombre d'oeufs seulement la deuxième journée après l'accouplement. Cette information doit être très utile lors des dénombrements de populations sur le terrain. Les premières pontes nous indiqueront un certain niveau de la population et par la suite, nous devons nous attendre à des infestations plus élevées (2ème journée).

Ceci est valable bien entendu, lorsqu'on a affaire à des populations bien synchronisées dont les vols se font massivement dans un laps de temps étroit. Cependant, un problème plus difficile se pose dans le cas d'un chevauchement des émergences des imagos dans des régions méditerranéennes où le nombre de générations par an peut être de 3 (18).

Finalement, malgré la courte durée de cette expérience, et selon les résultats montrés à la Figure 31, nous avons pu avoir une bonne estimation de la ponte de Mamestra brassicae dans les conditions de travail utilisées, étant donné que durant cette période, nous avons répertorié déjà presque les 80 % de la ponte maximale potentiellement possible d'après la littérature (76) (34) (71) (32) qui peut osciller entre les 1500 et 2400 oeufs/♀ femelle, pendant 8 jours) 22°C.

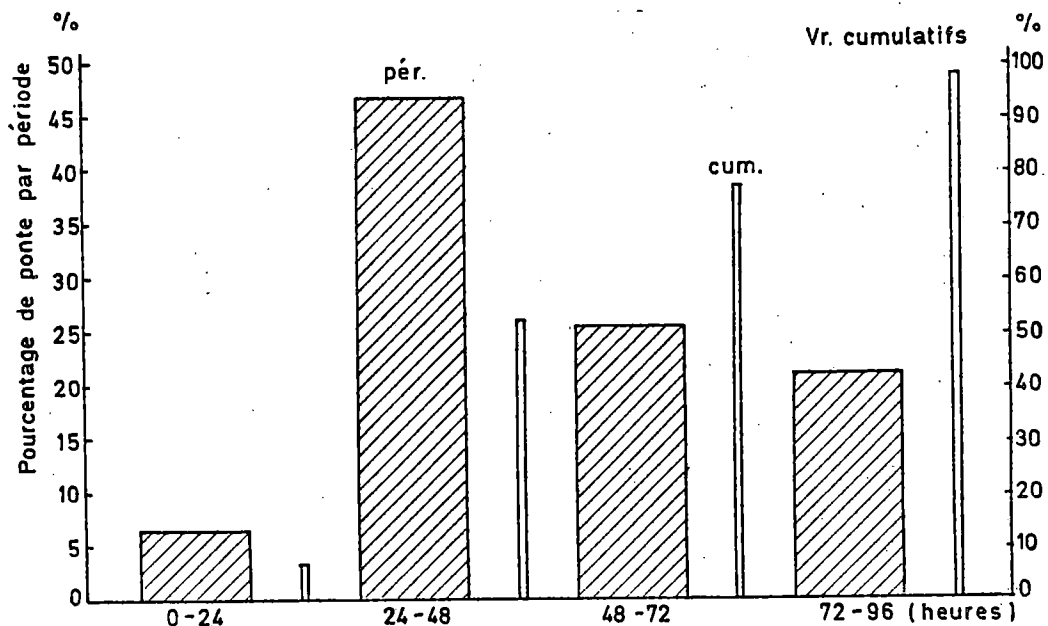


Figure 31 - Ponte de Mamestra brassicae L. en laboratoire pendant 96 heures , selon nos conditions