

947

CN0101411
J150
SEC

COMMUNAUTE FRANÇAISE DE BELGIQUE
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBOUX
Zoologie générale et appliquée

INRA - ONRA
Bibliothèque
DAMBAY

**DEVELOPPEMENT DE METHODES ALTERNATIVES
DE CONTROLE DES PRINCIPAUX INSECTES
RAVAGEURS DES DENREES EMMAGASINEES
AU SENEGAL PAR L'UTILISATION
DE PLANTES INDIGENES**

Dogo SECK

Dissertation originale présentée
en vue de l'obtention du grade
de Docteur en Sciences agronomiques

Promoteur : C. GASPAR
Rapporteurs : G. LOGNAY • B. SCHIFFERS

1994

“En aucun cas, les opinions de l’auteur ne peuvent être considérées, par le fait de l’autorisation d’impression de la dissertation, comme étant celles du Jury ou de l’Université...”(Article 6 de l’Arrêté Royal du 10 mars 1931 appliquant la loi du 21 mars 1929 sur la collation des grades académiques et le programme des examens universitaires).

@Aux termes de la loi belge du 22 mars 1886, sur le droit d’auteur, seul l’auteur a le droit de reproduire cet ouvrage ou d’en autoriser la reproduction de quelque manière que ce soit. Toute photocopie ou reproduction sous autre forme est donc faite en violation de la loi.

Résumé • Les **expérimentations** menées au laboratoire et sur le terrain ont permis d'expliquer l'infestation initiale des insectes, les fluctuations saisonnières de leurs populations et de développer des méthodes de lutte alternatives contre les principales **espèces déprédatrices** des récoltes de mil (*Pennisetum americanum* L. Schum.) et de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) au Sénégal. Une enquête menée en milieu rural sur les plantes insecticides a permis de recenser neuf espèces **végétales**. Leur évaluation au laboratoire a permis de retenir les trois plus prometteuses: *Securidaca longepedunculata* Fres., *Gassia occidentalis* L. et *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. L'application de la poudre de feuilles de *S. longepedunculata* sur des graines de niébé, à la concentration de 5 à 10 % (P/P), réduit ou inhibe l'émergence et les dégâts de *Callosobruchus maculatus* (F.). L'écorce **de racines** a un effet fumigant sur *C. maculatus*, *Sitophilus zeamais* Motsch. et *Tribolium castaneum* Herbst., avec une CL50 qui, selon les **espèces** s'échelonne de 1,6 à 47,1 g/l. L'**huile** extraite des graines de *C. occidentalis*, appliquée à la concentration de 10 ml/Kg de niébé, induit des effets ovicides et larvicides sur *C. maculatus*. Quant à *B. senegalensis*, elle s'avère la plus performante. Les feuilles et les fruits, à la concentration de 2 à 4 % (P/P), induisent 80 à 100 % de **mortalité** chez les adultes de *C. maculatus*, **réduisent** ou inhibent l'**émergence** et les **dégâts** d'une nouvelle **génération** d'insectes. Ils sont **également** actifs à l'égard de *Prostephanus truncatus* (Horn.), *S. zeamais*, *Sitotroga cerealella* Oliv. et *T. castaneum*, avec une CL50 de 0,42 à 4,23 g/l. Les investigations chimiques menées sur ces trois plantes ont permis de définir la composition en acides gras de l'**huile** de *C. occidentalis*, d'identifier le salicylate de méthyle comme étant le principal constituant volatil des **racines** de *S. longepedunculata* et d'expliquer l'activité insecticide de *B. senegalensis*. **Cette** dernière résulte de la libération de l'isothiocyanate de méthyle à partir de la dégradation enzymatique d'un précurseur (la glucocapparine) contenu dans les feuilles et les fruits de la plante.

Summary • Field and laboratory experiments permitted to explain initial infestation of the **insects** as well as seasonal fluctuations of their populations and to develop alternative control strategies against the main damaging species of stored millet (*Pennisetum americanum* L. Schum.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Senegal. On the basis of a survey, conducted on botanicals with insecticidal properties at farm level, **nine** plants were retained and screened in laboratory experiments. *Securidaca longepedunculata* Fres., *Cassia occidentalis* L. and *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. were the three most promising. When added to cowpeas at 5-10 % (W/W), *S. longepedunculata* dry leaf powder **reduce** or inhibit both **emergence** and **damage** of *Callosobruchus maculatus* (F.). The root bark exhibit a fumigant **effect** against *C. maculatus*, *Sitophilus zeamais* Motsch. and *Tribolium castaneum* Herbst., with LC50 values of 1.6-47.1 g/l. *C. occidentalis* seed oil applied to cowpeas at 10 ml/kg **induce** ovicidal and larvicidal **effects** on *C. maculatus*. *B. senegalensis* was the most effective plant. Its leaves and fruits, at 2-4 % (W/W), **induce** 80-100 % mortality in *C. maculatus* adults and reduce or completely **inhibit** both **emergence** and **damage** of the F1 progeny. They are also active against *Prostephanus truncatus* (Horn.), *S. zeamais*, *Sitotroga cerealella* Oliv. and *T. castaneum*, with LC50 values of 0.42-4.23 g matter per liter. Chemical investigations conducted on the three plants permitted to **define** the fatty acid composition of *C. occidentalis* seed oil, to identify methyl salicylate as the main volatile compound of *S. longepedunculata* root bark and to explain the insecticidal **activity** of *B. senegalensis*. This latter is due to the liberation of methyl isothiocyanate, from the enzymatic degradation of a glucosinolate precursor (glucocapparin) **contained** in *Boscia* fruits and leaves.

Toute ma gratitude et ma reconnaissance à Monsieur le Directeur Général de l'**ISRA** pour m'avoir autorisé à poursuivre une formation post-universitaire, à l'**Administration Générale** de la **Coopération** au Développement (AGCD) du Royaume de Belgique qui a financé mon doctorat et au peuple belge pour son hospitalité.

Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans le soutien constant, l'**amitié** et les sacrifices de ma Chère **épouse** ainsi que la **compréhension** de nos enfants malgré leur jeune âge. Qu'ils trouvent dans cet ouvrage le couronnement de leurs efforts et l'expression de ma profonde **reconnaissance**.

Je remercie mes Parents et mes Maîtres pour les nobles valeurs de travail, d'honnêteté et **d'humilité** qu'ils m'ont toujours enseignées.

Liste des tableaux

Tableau 1	▪ Répartition de la population sénégalaise	2
Tableau 2	▪ Superficies et rendements des principales cultures vivrières au Sénégal*	7
Tableau 3	▪ Composition de 100 g de graines de niébé cru	12
Tableau 4	▪ Composition du riz et du niébé en éléments nutritifs	14
Tableau 5	▪ Entomofaune nuisible de la culture de niébé	15
Tableau 6	▪ Propriétés physiques et chimiques du bromure de méthyle et de l' hydrogène phosphoré.....	22
Tableau 7	▪ Insecticides de contacts autorisés pour le traitement des denrées entreposées au Sénégal	24
Tableau 8	▪ Insectes auxiliaires de <i>C. maculatus</i>	28
Tableau 9	▪ Plantes et dérivés végétaux utilisés contre <i>C. maculatus</i>	3 0
Tableau 10	▪ Substances secondaires d'origine végétale	32
Tableau 11	▪ Principaux insectes ravageurs du mil stocké au Sénégal	3 7
Table au 12	▪ Infestation initiale de <i>S. cerealella sur</i> mil au Sénégal	3 8
Tableau 13	▪ Insecticides testés	4 4
Tableau 14	▪ Evolution de l'efficacité résiduelle de quatre insecticides sur C. maculatus au Sénégal.....	46
Tableau 15	▪ Evolution de l' infestation et des dégâts de <i>C. maculatus</i> sur niébé traité avec différents insecticides au Sénégal	47
Tableau 16	▪ Taux de réussite du développement de <i>C. maculatus</i> sur 80 variétés de niébé originaires du Sénégal	5 2
Tableau 17	▪ Oviposition des femelles de <i>C. maculatus</i> sur les graines ' de 80 variétés de niébé originaires du Sénégal	5 3
Tableau 18	▪ Nombre d'adultes FI de <i>C. maculatus</i> émerges des graines de 80 variétés de niébé originaires du Sénégal	5 4
Tableau 19	▪ Rythme des émergences de <i>C. maculatus sur des variétés</i> résistante (R) et sensible (S) de niébé	5 5
Tableau 20	▪ Pourcentage de graines de niébé attaquées par <i>C. maculatus</i> après 2 mois de stockage dans des fûts métalliques	5 8
Tableau 21	▪ Pourcentage de graines de niébé attaquées par <i>C. maculatus</i> après 4 mois de stockage dans des fûts métalliques	5 9

Tableau 22 - Pourcentage de graines de <i>niébé</i> attaquées par <i>C. maculatus</i> après 6 mois de stockage dans des fûts métalliques	60
Tableau 23 - Taux de levée de différentes variétés de <i>niébé</i> après 8 mois de stockage dans des fûts métalliques	61
Tableau 24 - Toxicité des feuilles et des fruits de <i>A. indica</i> sur les adultes de <i>C. maculatus</i>	65
Tableau 25 - Effet d'extraits aqueux de <i>A. indica</i> sur l'oviposition des femelles de <i>C. maculatus</i>	66
Tableau 26 - Effet d'extraits aqueux de <i>A. indica</i> sur le taux de réussite (TR) et les dégâts de <i>C. maculatus</i>	67
Tableau 27 - Effet de plusieurs extraits aqueux de <i>A. indica</i> sur la longévité et la fécondité de la progéniture de <i>C. maculatus</i>	70
Tableau 28 - Matériel végétal teste	73
Tableau 29 - Toxicité de contact de 9 plantes sénégalaises sur <i>C. maculatus</i>	75
Tableau 30 - Effet de 9 plantes sénégalaises de <i>C. maculatus</i>	77
Tableau 31 - Effet des feuilles fraîches broyées (FFB) entières (FFE) ou de la poudre de feuilles sèches (PFS) de <i>B. senegalensis</i> sur <i>C. maculatus</i>	78
Tableau 32 - Effet des feuilles et des graines de <i>C. occidentalis</i> sur les émergences de <i>C. maculatus</i>	85
Tableau 33 - Effet des extraits de graines de <i>C. occidentalis</i> sur les émergences de <i>C. maculatus</i>	86
Tableau 34 - Effet de l'huile de graines de <i>C. occidentalis</i> sur la ponte de <i>C. maculatus</i>	88
Tableau 35 - Toxicité de l'huile de <i>C. occidentalis</i> sur les oeufs et les larves de <i>C. maculatus</i>	88
Tableau 36 - Caractéristiques physiques et concentrations des principaux acides gras de l'huile de <i>C. occidentalis</i>	90
Tableau 37 - Volumes en ml (*) ou poids en gr (**) d'acides appliqués en fonction de leur état à température ambiante	91
Tableau 38 - Effet des acides gras libres de l'huile de graines de <i>C. occidentalis</i> sur la ponte de <i>C. maculatus</i>	95
Tableau 39 - Toxicité des acides gras constitutifs de l'huile de <i>C. occidentalis</i> sur les oeufs et les larves de <i>C. maculatus</i>	96

Tableau 40	• Effet des acides gras extraits de l'huile de <i>C. occidentalis</i> sur le nombre total d'émergences de <i>C. maculatus</i>	97
Tableau 41	• Synthèse du mode d'action des quatre acides gras considérés séparément ou en mélange sur <i>C. maculatus</i>	98
Tableau 42	• Pourcentages de germination de semences de niébé traitées ou non avec l'huile de <i>C. occidentalis</i>	99
Tableau 43	• Noms vernaculaires de <i>S. longepedunculata</i> au Sénégal	101
Tableau 44	• Activité biologique de poudres de feuilles (PFe) ou de fruits (PFr) de <i>S. longepedunculata</i> sur <i>C. maculatus</i>	106
Tableau 45	• Toxicité de l'écorce de racine de <i>S. longepedunculata</i> sur les adultes de trois espèces d'insectes des denrées	107
Tableau 46	• Teneur en salicylate de méthyle de l'écorce des racines de <i>S. longepedunculata</i> de 12 localités du Sénégal	114
Tableau 47	• Toxicité du salicylate de méthyle sur <i>C. maculatus</i>	115
Tableau 48	• Quelques noms vernaculaires de <i>B. senegalensis</i> en Afrique	117
Tableau 49	• Productivité foliaire et poids de matière sèche de feuilles de <i>B. senegalensis</i> au Nord du Sénégal	123
Tableau 50	• Analyse des matières grasses des graines de <i>B. senegalensis</i>	123
Tableau 51	• Composition chimique minérale et vitaminée des feuilles et des fruits de <i>B. senegalensis</i>	124
Tableau 52	• Toxicité comparée des feuilles et des fruits de <i>B. senegalensis</i> sur <i>C. maculatus</i>	126
Tableau 53	• Effet du traitement de graines de niébé avec des feuilles ou des fruits frais de <i>B. senegalensis</i> sur l'émergence et les dégâts de <i>C. maculatus</i>	127
Tableau 54	• Effet du traitement de graines de niébé avec le cortex (CF), les graines (GF) ou le fruit entier de <i>B. senegalensis</i> sur la ponte et le nombre des émergences FI de <i>C. maculatus</i> . . .	129
Tableau 55	• Valeur des temps létaux (TL) de 3 espèces d'insectes exposés aux extraits acétoniques de fruits de <i>B. senegalensis</i>	132
Tableau 56	• Toxicité aiguë des feuilles et des fruits frais de <i>B. senegalensis</i> sur 3 espèces d'insectes des denrées	134
Tableau 57	• Oviposition de <i>C. maculatus</i> , après 24 heures d'exposition aux feuilles fraîches de <i>B. senegalensis</i>	135

Tableau 58	- Oviposition de <i>C. maculatus</i> après 24 heures d'exposition aux fruits frais de <i>B. senegalensis</i>	136
Tableau 59	- Analyse CPG des extraits EVE de feuilles de <i>B. senegalensis</i>	142
Tableau 60	- Quelques données physiques et chimiques sur l'isothiocyanate de méthyle	149
Tableau 61	- Teneur en glucocapparine de feuilles et de fruits de <i>B. senegalensis</i> prélevés de différentes localités du Sénégal	154
Tableau 62	- Toxicité aiguë de l'isothiocyanate de méthyle sur trois espèces d'insectes des denrées stockées	156
Tableau 63	- Effet du stockage hermétique dans des bocaux de volume 210 ou 850 ml sur le développement de <i>C. maculatus</i>	161
Tableau 64	- Mortalité des adultes de <i>C. maculatus</i> en fonction de la durée de stockage dans des bocaux hermétiques de 210 ml .	163
Tableau 65	- Effet des fruits de <i>B. senegalensis</i> sur l'émergence de <i>C. maculatus</i> dans des bocaux hermétiques	165

Liste des figures

Figure 1 - Carte du Sénégal	4
Figure 2 - Evolution récente de la production des principales cultures vivrières du Sénégal	6
Figure 3 - Morphologie de <i>C. maculatus</i>	17
Figure 4 - Formules chimiques de substances naturelles d'origine végétale	34
Figure 5 - Dispositif de piégeage des insectes du mil stocké	41
Figure 6 - Fluctuations saisonnières des populations d'insectes ravageurs du mil stocké dans les greniers au Sénégal	42
Figure 7 - Evolution de l'infestation de <i>C. maculatus</i> sur niébé à Louga (Sénégal)	49
Figure 8 - Effet d'extraits aqueux de <i>A. indica</i> sur la population de la progéniture de <i>C. maculatus</i>	69
Figure 9 - Effet des feuilles fraîches broyées (FFB) ou entières (FFE) et de la poudre de feuilles séchées (PFS) de <i>B. senegalensis</i> sur le rythme des émergences FI de <i>C. maculatus</i>	79
Figure 10 - Morphologie de <i>C. occidentalis</i> L	82
Figure 11 - Chromatogramme représentatif du dosage des acides gras de l'huile de <i>C. occidentalis</i>	93
Figure 12 - Distribution de <i>S. longepedunculata</i> et répartition des différentes variétés en Afrique	100
Figure 13 - Morphologie de <i>S. Longepedunculata</i>	103
Figure 14 - Formule de molécules identifiées dans <i>S. longepedunculata</i>	104
Figure 15 - Profil chromatographique des produits volatils des racines de <i>S. longepedunculata</i>	111
Figure 16 - Spectre de masse du produit majoritaire (salicylate de méthyle) de l'extrait de racines de <i>S. longepedunculata</i>	112
Figure 17 - Morphologie de <i>B. senegalensis</i>	118
Figure 18 - Distribution de <i>B. senegalensis</i> en Afrique	119
Figure 19 - Ecologie de <i>B. senegalensis</i> au Sénégal	120
Figure 20 - Cycle annuel de <i>B. senegalensis</i> au Nord du Sénégal	122

Figure 21	• Rythme des émergences de <i>C. maculatus</i> sur des graines de niébé traitées avec le cortex (CF), les graines (GF) ou les fruits entiers (FE) de <i>B. senegalensis</i> à la concentration de 0,5 %	130
Figure 22	• Schéma du dispositif d'évaluation de l'effet fumigant de <i>B. senegalensis</i>	132
Figure 23	• Répartition de la ponte journalière de <i>C. maculatus</i> , après 24 h d'exposition aux feuilles (A, B, C) ou aux fruits (D, E, F) frais broyés de <i>B. senegalensis</i>	137
Figure 24	• Analyse CPG sur colonne apolaire de la fraction volatile extraite à partir des feuilles de <i>B. senegalensis</i> (1 : extrait ; 2 : isothiocyanate de méthyle témoin)	140
Figure 24 (suite)	• Analyse CPG sur colonne polaire de la fraction volatile extraite à partir des feuilles de <i>B. senegalensis</i> (1 : extrait ; 2 : isothiocyanate de méthyle témoin)	141
Figure 25	• Schéma général de dégradation des glucosinolates	145
Figure 26	• Spectre de masse du désulphoglucosinolate silylé provenant de l'extrait de fruits de <i>B. senegalensis</i>	147
Figure 27	• Dispositif de piégeage des produits volatils de <i>B. senegalensis</i>	150
Figure 28	• Courant ionique total (GC-MS) des produits volatils libérés pendant le bio-test de l'extrait acétonique de fruits de <i>B. senegalensis</i>	151
Figure 29	• Schéma de dégradation de la glucocapparine	152
Figure 30	• Evolution des concentrations en O ₂ et en CO ₂ dans des bocaux hermétiques de 210 ml (A, B, C) et de 850 ml (D, E), contenant des graines de niébé saines ou infestées avec des adultes ou des larves de <i>C. maculatus</i>	159
Figure 31	• Rythme des émergences de <i>C. maculatus</i> en fonction de la durée de stockage hermétique dans des bocaux de 210 ml (A = adultes ; B = larves)	162

Liste des annexes

- Annexe 1** - Evolution des concentrations journalières en **oxygène** et en dioxyde de carbone dans des bocaux de 210 ml contenant des **graines de niébé** saines et **infestées** avec des larves ou des adultes de *C. maculatus*
- Annexe 2** - Evolution des concentrations journalières en oxygène et en dioxyde de carbone dans des bocaux de 850 ml contenant des graines de **niébé** saines et infestées avec des adultes de *C. maculatus*
- Annexe 3** - Effet du stockage du **niébé** dans des bocaux **hermétiques** de 210 ml sur **différents** stades de *C. maculatus*
- Annexe 4** - Principaux ravageurs des **céréales** stockées au **Sénégal** (*S. cerealella* sur mil (A) ; *S. zeamais* sur sorgho (B) et *maïs* (D) ; *T. castaneum* sur mil (C))
- Annexe 5** - Problèmes phytosanitaires que nous avons observés sur *B. senegalensis* au **Sénégal** (Défoliations par *Coletis eris* Klug (Lepidoptera : Pieridae) (A & B) ; pucerons (C) ; cochenilles (D))
- Annexe 6** - Morphologie et cycle de développement de *Caryedon pallidus* 01. (Coleoptera: Bruchidae) ravageur des graines de *C. occidentalis* au **Sénégal**

Liste des abréviations

CE	: concentré émulsifiable
PP	: poudre pour poudrage
PM	: poudre mouillable
CS	: concentré soluble
CILSS	: Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
NPA	: Nouvelle Politique Agricole
ISRA	: Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
CRSP	: Collaborative Research Support Program
USAID	: United State Agency for International Development
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
UER	: Unité d'Enseignement et de Recherche
Ø	: diamètre
FID	: détecteur à ionisation de flamme
Tr	: temps de rétention (en minutes)
CL₅₀	: concentration létale 50
DL₅₀	: dose létale 50
TL₅₀	: temps léthal 50
MS	: matière sèche
F1	: première génération
MITC	: isotbiocyanate de méthyle
CPG	: chromatographie en phase gazeuse
EVE	: entraînement à la vapeur d'eau
GCMS	: chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
HPLC	: chromatographie liquide à haute performance
O₂	: oxygène
CO₂	: dioxyde de carbone

Table des matières

Introduction générale	1
------------------------------------	---

CHAPITRE I

Présentation du Sénégal

1. Situation géographique	3
2. Les régions phytogéographiques	3
2.1. La région Sahélienne	3
2.2. La région Soudanaise	3
2.3. La région Guinéenne	5
3. La production agricole	5

CHAPITRE II

Biologie, écologie et importance économique des principaux insectes ravageurs des stocks de céréales dans la zone sahéenne de l'Afrique de l'Ouest

1. Introduction	8
2. Les principales espèces	8
2.1. Coléoptères	8
2.1.1. <i>Sitophilus oryzae</i> L. et <i>S. zeamais</i> Motsch. (Curculionidae)	8
2.1.2. <i>Rhyzopertha dominica</i> F. (Bostrychidae)	9
2.1.3. <i>Tribolium castaneum</i> Herbst (Tenebrionidae)	9
2.2. Lépidoptères	9
2.2.1. <i>Sitotroga cerealella</i> Olivier (Gelechiidae)	9
2.2.2. <i>Ephestiu cautella</i> Walker (Pyralidae)	10
2.2.3. <i>Corcyra cephalonica</i> Stnt (Pyralidae)	10

CHAPITRE III

Généralités sur *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

1. Systématique et noms vernaculaires	11
2. Distribution et importance économique	11
3. Morphologie	11
4. Ecologie	13
5. Intérêt agronomique et valeur alimentaire	13
6. Entomofaune nuisible au niébé	14

CHAPITRE IV
***Callosobruchus maculatus* Fabricius**

1. Systématique	16
2. Distribution	16
3. Morphologie	16
4. Biologie	16
5. Dégâts	18

CHAPITRE V
**Revue des méthodes de lutte contre les principaux insectes des
denrées stockées**

1. La lutte chimique	19
1.1. Les fumigants	19
1.1.1. Définition	19
1.1.2. Propriétés intéressantes des gaz de fumigation	19
1.1.3. Toxicité des gaz de fumigation sur les insectes	19
1.1.4. Fumigants utilisés sur les denrées entreposées	20
1.1.4.1. Le bromure de méthyle	20
1.1.4.2. L'hydrogène phosphoré	21
1.1.4.3. Résistance des insectes aux fumigants	22
1.1.5. Emploi et avenir des fumigants	23
1.2. Les insecticides de contact	23
1.2.1. Les produits de choc	23
1.2.2. Les produits à moyenne persistance	23
1.2.3. Les produits à longue persistance	23
1.2.4. Effet des paramètres du stockage sur les insecticides	25
1.3. Conclusions	26
2. La résistance variétale	26
3. Les méthodes physiques de lutte contre les insectes	27
3.1. L'irradiation	27
3.2. L'atmosphère contrôlée	28
4. La lutte biologique	28
5. Les méthodes traditionnelles	29
6. Les nouvelles substances d'origine végétale	31
6.1. Introduction	31
6.2. Les substances naturelles insecticides des plantes	31
6.3. Les cibles des toxines naturelles des plantes	32
6.3.1. Le système nerveux	32
6.3.2. Systèmes hormonaux	32
6.4. Conclusions	33

Experimentations de terrain et de laboratoire	35
---	----

CHAPITRE I

Etudes sur l'écosystème du mil stocké au Sénégal

1. Objectif	36
2. Infestation initiale de <i>Sitotroga cerealella</i> en fonction des champs de mil ..	36
2.1. Matériel et méthodes	36
2.2. Résultats et discussion	37
3. Fluctuations saisonnières des populations d'insectes	39
3.1. Matériel et méthodes	39
3.2. Résultats et discussion	39
4. Conclusion	40

CHAPITRE II

Recherches sur le stockage du niébé au Sénégal

1. Historique des recherches sur le niébé au Sénégal	43
2. La protection chimique	43
2.1. Objectif	43
2.2. Matériel et méthodes	44
2.3. Résultats et discussion	45
3. La résistance variétale du niébé à <i>C. maculatus</i>	50
3.1. Objectifs	50
3.2. Matériel et méthodes	50
3.3. Résultats et discussion	51
4. Le stockage en fûts métalliques hermétiques	56
4.1. Objectif	56
4.2. Matériel et méthodes	56
4.3. Résultats et discussion	57
4.4. Conclusion	57
5. Utilisation de <i>Azadirachta indica</i> (A) Juss	62
5.1. Objectif	62
5.2. Généralités sur <i>Azadirachta indica</i>	62
5.2.1. Origine et distribution géographique	62
5.2.2. Productivité	63
5.2.3. Efficacité sur les insectes	63
5.2.4. Toxicologie	63
5.2.3. Chimie	63
5.3. Matériel et méthodes	64
5.4. Résultats	65

CHAPITRE III
Recherches sur les plantes sénégalaises à effet insecticide

1. Introduction	71
2. Choix de la méthode de prospection	71
3. Essai préliminaire de criblage	74
3.1. Objectif	74
3.2. Matériel et méthodes	74
3.3. Résultats	76
4. Conclusion	80

CHAPITRE IV
Etude de *Cassia occidentalis* L.

1. Généralités	81
1.1. Systématique et noms vernaculaires	81
1.2. Distribution géographique et habitat	81
1.3. Morphologie	81
1.4. Composition chimique et pharmacologie	83
1.5. Utilisations	83
2. Activité biologique sur <i>Callosobruchus maculatus</i>	83
2.1. Introduction	83
2.2. Activité biologique des feuilles et des graines	84
2.2.1. Matériel et méthodes	84
2.2.2. Résultats et discussion	85
2.3. Activité biologique de l'huile extraite des graines	86
2.3.1. Objectif	86
2.3.2. Matériel et méthodes	87
2.3.3. Résultats et discussion	87
2.4. Activité biologique des acides gras de l'huile	89
2.4.1. Matériel et méthodes	89
2.4.2. Résultats et discussion	92
2.5. Conclusion	98
2.6. Effet du traitement avec l'huile de <i>C. occidentalis</i> sur la germination	99
2.6.1. Objectif	99
2.6.2. Matériel et méthodes	99
2.6.3. Résultats et discussion	99

CHAPITRE V
Etude de *Securidaca longepedunculata* FRESÉN

1. Généralités	100
1.1. Taxonomie et noms vernaculaires	100
1.2. Distribution et habitat	101
1.3. Morphologie de <i>S. longepedunculata</i>	101
1.4. Utilisations	102
1.5. Composition chimique	102
2. Activité biologique de <i>S. longepedunculata</i>	105
2.1. Activité biologique des feuilles et des fruits	105
2.1.1. Matériel et méthodes	105
2.1.2. Résultats et discussion	105
2.2. Activité biologique des racines	107*
2.2.1. Matériel et méthodes	107
2.2.2. Résultats	107
3. Etude chimique de <i>Securidaca longepedunculata</i>	108***
3.1. Analyse des produits volatiles de l'écorce des racines	108
3.1.1. Introduction	108
3.1.2. Matériel et méthodes	108
3.1.3. Résultats et discussion	109
3.2. Dosage du salicylate de méthyle des racines en fonction de la localité ..	113
3.2.1. Introduction	113
3.2.2. Matériel et méthodes	113
3.2.3. Résultats et discussion	113
4. Toxicité du salicylate de méthyle pur sur <i>C. maculatus</i>	115
4.1. Matériel et méthodes	115
4.2. Résultats et discussion	115

CHAPITRE VI

Etude de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir.

1. Généralités	116
1.1. S ystematique	116
1.2. Morphologie	116
1.3. Ecologie et distribution géographique	119
1.4. Utilisations	121
1.5. Phénologie et productivité	121
1.6. Composition chimique	123
2. Activité biologique de <i>B. senegalensis</i> sur les insectes des denrées	125
2.1. Introduction	125
2.2. Activité biologique des feuilles et des fruits	125
2.2.1. Matériel et méthodes	125
2.2.2. Resultats et discussion	125
2.3. Comparaison de l' activité biologique des différentes parties du fruit	128
2.3.1. Objectif	128
2.3.2. Matériel et méthodes	128
2.3.3. Resultats et discussion	128
2.4. Effet fumigant d'extraits de fruits de <i>B. senegalensis</i>	130
2.4.1. Objectif	130
2.4.2. Matériel et méthodes	131
2.4.3. Resultats et discussion	131
2.5. Etude de la relation dose-mortalité et effet des feuilles et des fruits de <i>B. senegalensis</i> sur l'oviposition de <i>C. maculatus</i>	133
2.5.1. Matériel et méthodes	133
2.5.2. Résultats et discussion	133
2.6. Etude chimique de <i>Boscia senegalensis</i>	138
2.6.1. Introduction	138
2.6.2. Etude de la fraction volatile extraite des feuilles par entraînement à la vapeur d'eau	138
2.6.2.1. Matériel et méthodes	138
2.6.2.2. Resultats et discussion	142
2.6.3. Analyse des glucosinolates	143
2.6.3.1. Généralités sur les glucosinolates	143
2.6.3.2. Matériel et méthodes	144
2.6.3.3. Resultats et discussion	146
2.6.4. Données sur l'isothiocyanate de méthyle	148
2.6.5. Détection du MITC libéré pendant les bio essais	150
2.6.5.1. Objectif	150
2.6.5.2. Materiel et méthodes	150
2.6.5.3. Resultats et discussion	152

2.7. Teneur en glucocapparine de <i>B. senegalensis</i> en fonction de l'organe et de la localité	153
2.7.1. Objectif	153
2.7.2. Matériel et méthodes	153
2.7.3. Résultats et discussion	153
2.8. Etude de la relation dose-mortalité du MITC	155
2.8.1. Matériel et méthodes	155
2.8.2. Résultats	155
2.9. Conclusion	156
3. Application de <i>B. senegalensis</i> au stockage en milieu hermétique	157
3.1. Evolution des concentrations en O ₂ et CO ₂ et développement de <i>C. maculatus</i> en fonction de la durée de stockage du niébé	157
3.1.1. Matériel et méthodes	157
3.1.2. Résultats	158
3.2. Combinaison de <i>B. senegalensis</i> au stockage en milieu hermétique	164
3.2.1. Matériel et méthodes	164
3.2.2. Résultats	164
Conclusions générales	166
Références bibliographiques	170

Introduction générale

Chaque année, près de 20000 espèces d'insectes menacent la production agricole mondiale (MC EWEN, 1978) et détruisent une bonne partie des céréales et des légumineuses vivrières cultivées dans les pays en développement d'Afrique et d'Asie. En 1992, 20 à 30 % de la production agricole de la zone sahelienne (soit 1,2 à 1,8 millions de tonnes) ont été perdus (CILSS, 1992). Cette région d'Afrique regroupe huit pays dont le Sénégal.

Le Sénégal compte sept à huit millions d'habitants dont 80 % de population agricole (tableau 1). Ses principales cultures vivrières sont le maïs (*Zea mays* L.), le mil (*Pennisetum americanum* (L.) Schum.), le riz (*Oryza sativa* L.) et le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

P. americanum et *V. unguiculata* contribuent le plus à l'alimentation de la population. Ils sont cultivés en rotation pendant la saison pluvieuse, de Juillet à Septembre et récoltés au mois d'octobre. Les graines sont ensuite stockées pendant 7 à 8 mois dans des conditions précaires, favorables au développement de nombreux insectes. L'importance des dégâts occasionnés justifie le recours à diverses méthodes de lutte parmi lesquelles la lutte chimique est la plus courante.

Au cours des vingt dernières années, l'application abusive et non raisonnée de pesticides synthétiques a entraîné l'apparition d'insectes résistants (GEORGHIU, 1990), la destruction d'organismes non cibles suite à l'utilisation de matières actives peu spécifiques et de nombreux accidents chez les populations rurales. Pour toutes ces raisons, tout le monde s'accorde aujourd'hui sur l'intérêt de développer des méthodes alternatives de contrôle des ravageurs, surtout en Afrique où l'utilisation d'extraits végétaux ou de plantes entières devrait être rationalisée et encouragée.

Cette nouvelle orientation, objet du présent doctorat, doit passer par deux étapes principales à savoir : (1) mieux connaître les principaux ravageurs et leurs conditions d'infestation ; (2) étudier les méthodes traditionnelles de lutte et plus particulièrement les plantes insecticides afin de valoriser les plus prometteuses d'entre elles.

La partie expérimentale de ce travail débute par l'étude de l'infestation initiale et des fluctuations saisonnières des populations d'insectes ravageurs du mil stocké. Dans la seconde partie, la protection chimique est abordée et trois méthodes alternatives de contrôle de la bruche du niébé au Sénégal sont proposées. Dans la troisième partie consacrée aux plantes insecticides sénégalaises, neuf plantes potentielles sont évaluées et trois sont retenues. L'étude approfondie de la plus prometteuse de ces dernières est menée et ses perspectives de valorisation envisagées.

Année	Population (milliers)		Population active (milliers)		
	Totale	Agricole	Totale	Agricole	Pourcentage
1975	4806	3923	2233	1822	81,6
1980	5.538	4463	2535	2040	80,5
1985	6375	5071	2817	2238	79,5
1989	7126	5607	3076	2418	78,6
1990	7327	5749	3146	2466	78,4
1991	7533	5894	3217	2514	78,2

source (FAO, 1988)

Tableau 1 • Répartition de la population sénégalaise

CHAPITRE I

Présentation du Sénégal

1 Situation géographique

La république du **Sénégal** est comprise entre 12° 18' et 16°41' de latitude Nord ; 10° 21' et 17° 32' de longitude Ouest et **s'étend** sur une superficie de 196.192 km². Elle est **limitée** à l'Ouest par l'**Océan** atlantique ; au Nord par le fleuve **Sénégal**, à l'Est par le fleuve **Sénégal** et son affluent la **Falémé**, au Sud par la Guinée et la **Guinée** Bissau (figure 1).

2. Les régions phytogéographiques

La **végétation** du **Sénégal** est **caractérisée** par une grande **diversité** entre le Nord et le Sud du pays, **corrélée** à la **pluviosité**. Au Nord il ne tombe que 300 mm de pluie pendant deux mois, tandis qu'à l'extrême Sud-Ouest (Casamance) on enregistre plus de 1800 mm pendant quatre ou cinq mois. Du Nord au Sud on distingue trois grands types de climats (sahélien, soudanien et guinéen), **délimitant** trois figions phytogéographiques.

2.1. La région Sahélienne

L'**isohyète** de 400 m est placé au centre de la région Sahélienne. Cette dernière est **caractérisée** par des prairies estivales temporaires, composées d'herbes annuelles qui apparaissent à la mi-juillet et se dessèchent **début** octobre. Elles sont ensuite soit **pâturées** et **piétinées** par le bétail, soit **incinérées** ou encore détruites par les termites, laissant le sol nu pendant près de huit mois.

A ce type de prairies est **associée** une végétation ligneuse appartenant **généralement** aux familles des Zygophyllaceae (*Balanites aegyptiaca* (L.) Del.), des Capparaceae (*Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir.), des Mimosaceae (*Acacia sp.*) et des Asclepiadaceae (*Calotropis procera* Ait.). Le sahel sénégalais est également **caractérisé** par une **végétation herbacée** typique, **dominée** par les genres *Aristida*, *Cenchrus*, *Panicum* et *Brachyaria*.

2.2. La région Soudanienne

La **région** Soudanienne est **caractérisée** par une **pluviométrie** de 1050 mm, un paysage d'**arbres** (**perdant** leurs feuilles de novembre-décembre à mai) dominé par *Bombux costutum* Pell. et Vuill, *Sterculiu setigeru* Del et surtout des Combretaceae arbustives (*Combretum glutinosum* Perr., *Combretum* le

micranthum G. Don.). La flore herbacée est dominée par les genres *Andropogon*, *Sorghum* et *Hyparrhenia*.

2.3. La région Guinéenne

Le centre de la région Guinéenne se situe au Sud du fleuve Casamance, dans la région d'Oussouye. Là, les défrichements cultureux se reconstituent en jachères forestières sans graminées, sauf dans les sables littoraux très pauvres. On ne trouve plus de feux de brousse sauf ceux intentionnellement allumés pour préparer les cultures.

La topographie générale du Sénégal n'étant perturbée par aucun relief important, il est difficile de fixer les limites précises entre ces trois grandes régions climatiques. On distingue ainsi des domaines intermédiaires de transition tels que les zones sahélo-soudanienne et soudano-guinéenne.

3. La production agricole

Les superficies cultivées au Sénégal sont de l'ordre de 2,3 millions d'hectares dont la moitié est réservée aux cultures vivrières (figure 2 ; tableau 2), l'autre à l'arachide.

En 1985, le gouvernement sénégalais instaure la Nouvelle Politique Agricole (N.P.A) et organise l'utilisation des terres. Les cultures vivrières sont désormais privilégiées par rapport à l'arachide dont la production tend à se déplacer vers les régions du sud à pluviométrie plus favorable.

La mise en place de la N.P.A s'accompagne de l'encouragement des cultures vivrières et du relèvement du prix au producteur d'un certain nombre de denrées de base. Le mil et le maïs sont ainsi passés de 60 à 70 francs CFA par Kg ; le riz paddy de 66 à 85 F et le niébé de 60 à 110 F.

En 1985, la NPA induit une augmentation de la production de niébé qui se maintient en 1986 et chute progressivement à partir de 1987. Si cette évolution s'explique partiellement par un manque de suivi, voire un relâchement de la politique d'incitation, elle est surtout due à la pression parasitaire observée tant sur la culture que sur la récolte de niébé.

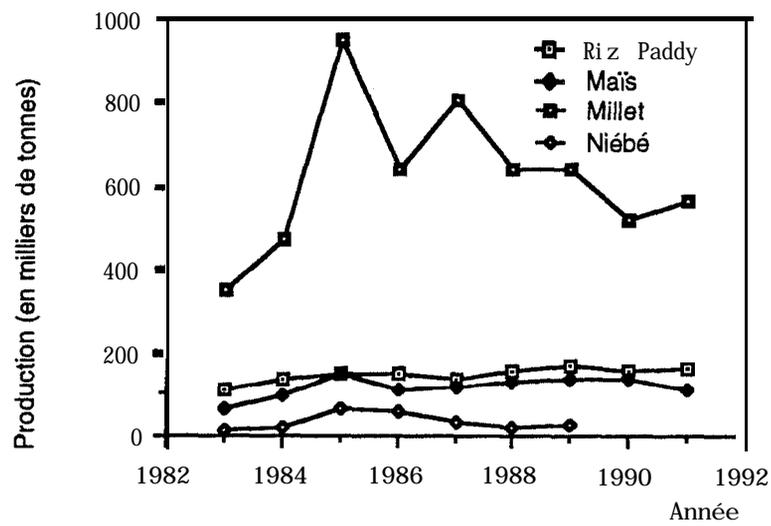


Figure 2 - Evolution récente de la production des principales cultures vivrières

Année	Superficie cultivée (1000 Ha)				Rendement (Kg/Ha)			
	RIZ	MAIS	MIL	NIÈBE	RIZ	MAIS	MIL	NIÈBE
1983	52	71	784	40	2087	859	449	325
1984	66	83	1003	53	2055	1191	470	302
1985	78	100	1336	121	1881	1462	711	545
1986	72	95	993	117	2059	1139	638	466
1987	74	99	1074	72	1827	1149	746	400
1988	81	112	1026	70	1931	1115	618	251
1989	79	934	953	65	2121	1413	670	407
1990	73	117	865		2139	1141	594	
1991	68	86	872		2352	1239	642	

Source (FAO, 1985; 1988; 1991)

Tableau 2 • Superficies et rendements des principales cultures vivrières au Sénégal

CHAPITRE II

Biologie, écologie et importance économique des principaux insectes ravageurs des stocks de céréales dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest

1. Introduction

Au cours des **dernières années**, la plupart des programmes conduits dans la **sous-région** sahélienne ont porté sur la lutte contre les ravageurs du mil, du **niébé** et du maïs au champ, laissant au second plan la protection des récoltes.

Pourtant, au moins quinze **espèces** d'insectes s'attaquent aux stocks de **céréales vivrières** en milieu rural. Parmi celles-ci, sept ont une importance **économique** sur mil, maïs et sorgho.

Dans ce chapitre, nous faisons **la synthèse** des données bibliographiques et de cinq années d'observations personnelles sur la biologie, l'écologie et l'importance économique des principaux ravageurs des **récoltes** dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest.

2. Les principales espèces

Quatre Coléoptères, *Sitophilus zeamais* Motsch., *S. oryzae* (L), *Rhyzopertha dominica* (F.) et *Tribolium castaneum* (Herbst) ainsi que trois Lépidoptères, *Sitotroga cerealella* (Oliv.), *Ephestia cautella* (Wlk) et *Corcyra cephalonica* (Staint.) sont **particulièrement** importants.

2.1. Coléoptères

2.1.1. *Sitophilus oryzae* L. et *S. zeamais* Motsch. (Curculionidae)

Le genre *Sitophilus* se reconnaît par la **présence** d'un rostre renflé **triangulairement** et portant les antennes **à** sa base. La larve blanche et charnue est apode et mesure de **2 à 4 mm**. Parmi les trois **espèces** du genre *Sitophilus*, seules deux (*S. zeamais* et *S. oryzae*) sont **présentes** dans les **régions** tropicales.

Leur distinction est relativement **compliquée** mais certains auteurs (KRANZ *et al.*, 1977) proposent des **critères** d'ordre **éthologique** pour les séparer : *S. oryzae* (2 à 5 mm) est un bon voilier, capable d'attaquer les céréales stockées depuis les champs. Il a une **préférence** pour les graines de petite taille comme le riz. Au contraire, *S. zeamais* (3 à 4 mm) vole **très peu** et préfère les grains de grande taille comme le maïs.

Les femelles pondent à l'intérieur de galeries creusées dans le grain. A l'éclosion qui survient quelques jours plus tard, la larve neonate se nourrit du grain et s'y nymphose pour n'en sortir que sous forme d'adulte parfait. Le cycle complet dure de 26 à 35 jours dans les zones tropicales.

2.1.2. *Rhyzopertha dominica* F. (Bostrychidae)

L'adulte de couleur brunâtre a le pronotum bombe dans sa partie antérieure et muni d'une protubérance qui rend la tête de l'insecte invisible d'en haut. Contrairement à beaucoup d'autres insectes des denrées, les dégâts de *R. dominica* sont causés aussi bien par les larves que par les adultes très voraces et n'épargnent aucune céréale.

Au Sénégal, en Gambie et en Guinée Bissau, nous les avons surtout notés sur stocks villageois de riz paddy et de sorgho grain.

La femelle de *R. dominica* pond de 400 à 500 oeufs à la surface ou entre les grains. Des l'éclosion, la larve pénètre dans l'albumen et se nourrit au fur et à mesure de sa progression, passe par 3 ou 4 stades avant de se nymphoser à l'intérieur de la graine. Le cycle complet dure environ 30 jours à 30°C et près de 60 jours à 26°C (KRANZ et al, 1977).

2.1.3. *Tribolium castaneum* Herbst (Tenebrionidae)

L'adulte de couleur rougeâtre à noir mesure 2 à 4 mm. Les trois derniers articles des antennes sont brusquement plus élargis que les 8 premiers et forment une massue terminale. *T. castaneum* est caractérisé par une très grande polyphagie et s'attaque aussi bien au mil qu'au maïs et aux légumineuses. En cas de forte infestation, l'adulte libère des substances quinoléiques qui confèrent à la denrée une odeur répulsive caractéristique.

2.2. Lépidoptères

2.2.1. *Sitotroga cerealella* Olivier (Gelechiidae)

S. cerealella ou Alucite des céréales est un micro lépidoptère dont l'adulte mesure de 1 à 1,4 cm. Les ailes antérieures sont brusquement rétrécies avant leur partie apicale. Les ailes postérieures portent une frange de soie plus longue que la demi largeur de l'aile.

L'infestation initiale commence au champ et est dix fois plus faible sur les épis des champs éloignés des villages que sur ceux des champs de case. Pour cette raison, *S. cerealella* représente l'une des plus sérieuses menaces à la conservation des semences de mil, lesquelles sont toujours choisies parmi les épis des champs de case (SECK, 1991).

2.2.2. *Ephestia cautella* Walker (Pyralidae)

Communément appelé teigne des farines, l'adulte mesure de 7 à 8 mm. Les ailes **postérieures** sont larges avec une frange de soie courte. Les ailes **antérieures** gris-brun portent une bande sombre à angle droit de l'axe longitudinal de l'insecte.

La femelle pond de 300 à 400 oeufs. A l'**éclosion**, 3 ou 4 jours plus tard, la larve se déplace activement, s'alimente au fur et à mesure qu'elle tisse des soies à la surface de la **denrée** et passe par plusieurs stades. Le cycle complet dure environ 1 mois dans les conditions optimales **d'élevage** et 2 mois dans les conditions ambiantes des magasins.

2.2.3. *Corcyra cephalonica* Staint (Pyralidae)

L'adulte **de** couleur gris-clair a une envergure de 15 à 25 mm et porte une touffe **d'écailles** en forme de **crête** sur la tête. Au Sénégal, l'insecte s'attaque surtout aux **céréales** et entraîne des **dégâts** particulièrement importants sur le riz et le maïs dans les conditions de stockage **centralisé**.

CHAPITRE III

Généralités sur *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

1. Systématique et noms vernaculaires

Vigna unguiculata (L.) Walp. appartient à l'ordre des Fabales, à la famille des Fabaceae, au genre *Vigna* et à l'espèce *unguiculata*. Ses différents synonymes sont : *Dolichos unguiculata* L., *Dolichos biflorus* L., *Dolichos sinensis* L., *Vigna sinensis* L. Sarra ex Hassk et *Vigna baoulensis* A. Chev.

Il est communément appelé dolique ou haricot indigène en français ; niébé en wolof (sénégalais) ; cowpea, crowder pea, southern pea ou black-eyed pea en anglais.

2. Distribution et importance économique

Le niébé est une culture de subsistance destinée à l'autoconsommation. Sa productivité varie en fonction du cultivar, du sol, du climat et des conditions de culture. Dans les régions tropicales, les rendements sont de 400 à 600 Kg à l'hectare, tandis qu'aux USA ils peuvent atteindre 1000 à 1500 Kg, voire dépasser trois tonnes à l'hectare.

La production annuelle mondiale de niébé est estimée à 2,27 millions de tonnes dont les deux tiers proviennent d'Afrique (SINGH *et al.*, 1985). Les principaux pays producteurs sont le Nigeria, le Burkina Faso, l'Ouganda, le Niger et le Sénégal. Le niébé est cultivé en Afrique de l'Ouest sur 7 à 8 millions d'hectares, avec un rendement moyen de 200 kg/ha. La production totale estimée à 1,4 million de tonnes est largement sous-évaluée, à cause du système de culture et du mode de consommation du niébé.

3. Morphologie

Vigna unguiculata (L.) Walp est une légumineuse annuelle d'environ 0,5 à 1 mètre de haut. Les deux premières feuilles sont simples et opposées tandis que les suivantes sont trifoliées et alternes. Son système racinaire est du type pivotant. Le niébé est une plante autogame à fleurs bleutées ou jaunâtres, formant une inflorescence de type racème de racèmes. Les gousses sont cylindriques, indehiscentes et atteignent 15 cm de long sur 0,6 cm de diamètre. Elles renferment 7 à 12 graines ovoïdes d'environ 0,6 à 0,8 cm de longueur (VIAUD, 1983 & MAPGNOKO, 1986)

Nutriments	Quantité / 100 g	Nbre d'échantillons
eau (g)	11,95 ± 0,391	82
énergie (kJ)	1408	147
protéines (N X 6,25) (g)	23,52 ± 0,205	139
lipides (g)	1,26 ± 0,036	
hydrates de carbone (g)	60,03	
Minéraux (mg)		
calcium	110 ± 11,803	47
fer	8,27 ± 0,246	59
magnésium	184 ± 7,012	45
phosphore	424 ± 11,904	46
potassium	1112 ± 40,025	44
sodium	16 ± 1,681	39
zinc	3,37 ± 0,167	46
Vitamines (mg)		
acide ascorbique	1,5	1
thiamine	0,853 ± 0,031	197
riboflavine	0,226 ± 0,008	204
niacine	2,075 ± 0,094	1 8 9
acide pantothénique	1,496 ± 0,058	166
vitamine B6	0,357	17
Lipides, acides gras (g)		
saturés	0,331	
monoinsaturés	0,106	
polyinsaturés	0,542	
Acides aminés (g)		
tryptophane	0,290	
thréonine	0,895	
isoleucine	0,956	
leucine	1,802	
lysine	1,591	
méthionine	0,335	
cystéine	0,260	
phénylalanine	1,373	
tyrosine	0,760	
arginine	1,629	
histidine	0,730	
alanine	1,072	
proline	1,057	
sérine	1,178	

**ableau 3 . Composition de 100 g de graines de niébé cru
(SINGH, 1990)**

4. Ecologie

Le **niébé** s'accommode bien des sols acides à neutres et beaucoup moins des sols alcalins. Il **résiste très** bien à la **sécheresse** et à l'ombrage mais beaucoup moins à un excès d'eau. Il **tolère** des précipitations annuelles comprises entre 280 et 4100 mm.

Les différents **cultivars** manifestent une **réponse** variable aux facteurs de l'environnement. Ainsi, les **variétés** hâtives produisent des gousses en 50 jours, tandis que les tardives n'en produisent qu'au bout de 240 jours.

5. Intérêt agronomique et valeur alimentaire

Du point de vue agronomique, le **niébé** est une plante à cycle court (2 à 4 mois) et à exigences agro-culturelles **réduites**. Contrairement aux **céréales**, il contribue à enrichir le sol en **matière** organique et en azote, grâce aux **résidus de récoltes** laissés sur les parcelles après la récolte des gousses. Son système racinaire très profond assure une bonne **fixation** et une bonne conservation des sols.

Sur le plan nutritionnel, le **niébé** a une valeur **supérieure** à celle de la plupart des **céréales** (mil, riz, sorgho, maïs). Les graines ont une teneur globale en protéines deux à **trois** fois supérieure à celle des **céréales**. Elles renferment les acides amines indispensables à l'alimentation humaine ainsi que la lysine dont les **céréales** sont déficientes. Malheureusement, elles sont déficientes en certains acides amines soufrés (cystéine et **méthionine**) et en tryptophane. Les feuilles constituent une source importante en vitamines A et C (tableau 3).

Malgré tous ces avantages, le **niébé** n'occupe pas la place qui **aurait** dû être la sienne dans la production agricole et dans l'alimentation des populations des **régions** tropicales. Ceci tient d'une part aux habitudes alimentaires, d'autre part aux politiques agricoles nationales, orientant les paysans vers les cultures industrielles au détriment des **légumineuses** alimentaires. Cette tendance s'accompagne souvent d'une grande consommation de **céréales importées** comme le riz, malgré une valeur alimentaire de cette **dernière** bien **inférieure** à celle du **niébé** (tableau 4).

Le Sénégal offre un exemple typique de ce déséquilibre, entre la culture de l'arachide dont la production annuelle oscille entre 0,3 et 1 million de tonnes et celle du **niébé** (VIAUD, 1983).

Eléments	Riz Siam non blanchi	Niébé	
		Graines	Feuilles
Eau (en %)	13	9	83
Protides	7	23	4,8
Lipides	2	1	0,4
Glucides	64	61	8
Cellulose	8,8	3	2
Matière minérale	5,2	3	1,8
Calcium (en mg/100g)	6	91	295
Phosphore	220	370	58
Fer	2,4	9	6
Acide ascorbique (C)	0	2	60
Thiamine (B1)	0,17	1,02	0,2
Riboflavine (B2)	0,03	0,17	0,38
Niacine (PP)	5,4	2,7	2,12

Tableau 4 - Composition du riz et du niébé en éléments nutritifs essentiels (VIAUD, 1983)

6. Entomofaune nuisible au niébé

Comme toutes les **légumineuses**, le **niébé** est attaqué par de nombreux insectes durant la culture (APPERT, 1964 ; JACKAI & DAOUST, 1986 ; SINGH, 1977 ; SINGH & JACKAI, 1985 ; SINGH et *al.*, 1990) (tableau 5).

A cette pression parasitaire au champ s'ajoute une difficulté majeure de conservation des graines. En effet, les pertes après récolte peuvent atteindre 50 à 80 % (CASWELL, 1961) voire 100 % dans certaines conditions. Il en résulte un **découragement** des paysans et des sociétés de développement à prendre des initiatives visant un accroissement de la production de **niébé** (VIAUD, 1983).

En Afrique tropicale, *C. maculatus* est de loin le principal ravageur du **niébé** stocké (AKINGBOHUNGBE, 1976 ; CASWELL, 1981 ; SINGH, 1990).

Nom scientifique	Partie attaquée	Distribution et importance (b)		
		Afrique	Asie	Amer. latine
<u>THYSANOPTERA</u>				
Thripidae				
<i>Megalurothrips sjostedi</i> (Tryb.)	Fl	M	0	I
<u>HEMIPTERA</u>				
Coreidae				
<i>Clavigralla shadabi</i> Dolling	G	M	1	1
<i>Clavigralla tomentosicollis</i> Stal.	G	M	1	1
<i>Riptortus dentipes</i> (F.)	G	M	0	1
<u>HOMOPTERA</u>				
Aphididae				
<i>Aphis cmccivora</i> Koch	Fe, Fl, G	M	M	M
Cicadellidae				
<i>Empoasca dolichi</i> Paoli	Fe	M	1	1
Bruchidae				
<i>Callosobruchus maculatus</i> (F.)	S	M	M	M
<i>Callosobruchus chinensis</i> (L.)	S	0	M	0
Chrysomelidae				
<i>Cerotoma ruficornis</i> (Oliv.)	Fe, Fl, G	1	1	M
<i>Madurasia obscurella</i> Jacoby	Fe	M	1	I
Curculionidae				
<i>Chalcodermus bimaculatus</i> Fielder	G	1	1	M
<i>Piezotrachelus varius</i> Wagner	G	M	1	I
<u>LEPIDOPTERA</u>				
Arctiidae				
<i>Amsacta sp.</i>	Fe, P	M	0	I
Pyralidae				
<i>Elasmopalpus lignosellus</i> (Zeller)	T	1	1	M
<i>Maruca testulatis</i> (Geyer)	Fl, G	M	M	S
<u>DIPTERA</u>				
Agromyzidae				
<i>Ophiomyia phaseoli</i> (Tryon)	T	S	M	1

(a) : R = Racines ; T = Tiges et pédoncules ; Fe = Feuilles ; Fl = Fleurs ; G = Gousses vertes et graines ; S = grains Secs ; P = Plante entière ; (b) : M = Majeur ; S = Sporadique ; 0 = sans importance ; 1 = Inconnu.

Tableau 5 • Entomofaune nuisible de la culture de niébé (SINGH et al., 1990)

CHAPITRE IV

Callosobruchus maculatus Fabricius

1. Systématique

Callosobruchus maculatus Fabricius appartient à l'ordre des Coléoptères, à la super-famille des *Chrysomeloidea*, à la famille des Bruchidae, à la sous-famille des *Bruchinae*, au genre *Callosobruchus* et à l'espèce *maculatus* (Decelle, 1966). Il est communément appelé bruche du niébé en français ; cowpea weevil ou cowpea seed beetle en anglais.

2. Distribution

L'aire de distribution de *C. maculatus* couvre toute la zone intertropicale. L'espèce est rencontrée en Afrique, au Moyen-Orient, en Australie, au Mexique et en Amérique du Sud.

3. Morphologie

Les oeufs de forme ovoïde sont blanchâtres. Ils sont fermement attachés au testa de la graine par une substance appelée spumaline (HINTON, cité par CREDLAND, 1992). A leur partie postérieure, ils possèdent un court tube respiratoire appelé micropyle.

L'adulte (figure 3) présente un polymorphisme imaginal permettant de distinguer deux formes aussi appelées phases (UTIDA, 1954 ; CASWELL, 1960). Celles-ci se différencient par des caractères morphologiques (UTIDA, 1972 ; RUP, 1988) mais aussi physiologiques et éthologiques (MONGE & OUEDRAOGO, 1990 ; TAYLOR & AGBAJÉ, 1974 ; TAYLOR & ALUDO, 1974 ; SANO-FUJII, 1984 ; TAYLOR, 1974).

4. Biologie

Les femelles s'accouplent quelques heures après l'émergence et pondent de 10 à 100 oeufs sur les gousses mûrissantes ou directement sur les graines.



Figure 3 • Morphologie de *Callosobruchus maculatus*
(A : adultes, O : oeufs)

A l'**éclosion** qui survient environ 6 jours plus tard, la larve **néonate** dite primaire **pénètre** directement dans la graine en forant une galerie. Après **une première** mue, elle perd ses pattes et sa **dépouille** larvaire et devient larve secondaire. Elle subit ainsi au total quatre mues et passe par autant de stades larvaires en une vingtaine de jours, avant de se nymphoser à l'intérieur de la graine. Au préalable, elle **découpe** un opercule circulaire dans le **tégument** de la graine que l'**adulte** soulèvera pour se **libérer**.

Dans les stocks de graines où il n'y a pas de facteurs alimentaires **limitants** et où **règnent** des conditions climatiques à peu près constantes, on compte une génération par mois (VIAUD, 1983).

Au laboratoire, la **durée** du cycle de **développement** varie suivant la teneur en eau des graines, l'**humidité** relative et la température. Les conditions optimales d'élevage se situent vers 30 °C de **température** et 70 % d'humidité relative (DE LOECKER, 1982). Les **températures** extrêmes de développement sont **estimées** entre 17 à 20 °C et 37.5 °C (HOWE & CURRIE, 1964).

L'**étude** de l'effet de **différentes** combinaisons de **températures** et d'humidité relative montre que *C. maculatus* **s'avère** beaucoup plus sensible aux variations de **températures** qu'à celles d'humidité relative (DIONGUE, 1984).

5. Dégâts

Le **développement** de la larve de *C. maculatus* entraîne une perte **pondérale** de la graine de 5 à 24,5 % (CASWELL, 1961 ; DIONGUE, 1984). A une échelle plus globale, SINGH & TAYLOR (1978) estiment à 1,6 million de dollars par an les pertes **occasionnées** par *C. maculatus* au Nigeria.

C. maculatus entraîne aussi des pertes qualitatives. Celles-ci se traduisent par une **réduction** de la **faculté** germinative des semences (BOOKER, 1967 ; SECK, non publié), une baisse de la teneur en **protéines**, en acides aminés et du rapport **d'efficacité** protéique (CASWELL, 1961 ; RAJAN *et al.*, 1975). L'augmentation du niveau d'infestation diminue la qualité organoleptique des graines et augmente leur teneur en acide urique, suite à la présence de **déjections** d'insectes (SOUTHGATE, 1979).

CHAPITRE V

Revue des méthodes de lutte contre les principaux insectes des denrées stockées

1. La lutte chimique

D'une **manière générale**, les produits chimiques de lutte contre les insectes peuvent se classer en deux grands groupes. On distingue d'une part ceux à action immédiate, d'autre part ceux qui persistent sur la **denrée** et agissent au cours d'une **période** plus ou moins **prolongée**. La **première** classe regroupe les **fumigants** et la seconde les insecticides de contact.

1.1. Les fumigants

1.1.1. Définition

Un fumigant est une substance qui, à une **température** et une pression **données**, peut être produite sous forme de gaz et se comporter en tant que tel. A ce titre, il peut diffuser et **pénétrer** à l'intérieur de **denrées** et s'en **échapper** ensuite par **diffusion** (BOND, 1990).

1.1.2. Propriétés intéressantes des gaz de fumigation

La diffusion : c'est la **faculté** d'un gaz d'occuper tout le volume offert. La diffusion d'un gaz est meilleure à température **élevée** et à basse pression. Quant à la vitesse de diffusion, elle est inversement proportionnelle au poids moléculaire du gaz.

L'adsorption et l'absorption : sont deux **phénomènes** physiques **très** importants du point de vue de la fumigation. L'adsorption a lieu lorsque des **molécules** d'un gaz restent **fixées** à la surface d'un corps solide. L'absorption se produit lorsqu'un corps gazeux **pénètre** à l'intérieur d'une phase solide ou liquide et y est retenu par des forces capillaires. Par exemple un gaz peut être absorbé dans la phase aqueuse des grains ou dans celle lipidique des noix et d'autres aliments gras (BERCK, 1964, cite par BOND, 1990).

La **sorption** varie en sens inverse de la **température**, ce qui **nécessite** d'augmenter les doses de fumigant pendant les saisons froides (LINDGREN & VINCENT, 1962).

1.1.3. Toxicité des gaz de fumigation sur les insectes

Les fumigants **pénètrent** dans le corps de l'insecte principalement par les voies respiratoires. Chez les larves, les nymphes et les adultes, cette **entrée** se fait par les stigmates situés sur les parties latérales du corps de l'insecte. Dans le cas des

oeufs, la **pénétration** des gaz se fait par diffusion à travers le **chorion** (coquille) ou les canaux respiratoires de l'oeuf (BOND, 1990).

1.1.4. Principaux fumigants utilisés pour le traitement des **denrées** entreposées

Les fumigants les plus utilisés en Afrique sont le bromure de méthyle et l'**hydrogène phosphoré** (tableau 6).

1.1.4.1. Le bromure de méthyle

Découvert dans les **années 30** (BOND, 1990), le bromure de méthyle (CH_3Br) est efficace dans beaucoup de domaines. Ses principales **qualités résident** dans sa capacité de **pénétrer** rapidement en profondeur des **denrées**, même à la pression **atmosphérique** et de s'en dissiper à l'**aération**, ce qui limite les risques de manipuler les **denrées traitées**. Il est **généralement** conditionné dans des bouteilles en acier **de 20 à 40 Kg** et parfois sous forme de pots de **0,5 kg** destinés aux usages limites.

Toxicologie- Le bromure de méthyle est **très toxique** sur l'homme et les insectes.

Sur l'homme, il induit des **lésions** pulmonaires et des troubles respiratoires à la concentration de **4 g/m³**, conduisant rapidement à la mort. Les symptômes de l'intoxication apparaissent au bout de **30 minutes à 48 heures** suivant la dose reçue. Ils se traduisent par des nausées accompagnées de vomissements, des vertiges, une vision double ou brouillée, une fatigue anormale, des migraines, une perte d'**appétit**, des douleurs abdominales, une difficulté d'élocution, une confusion mentale et des convulsions.

Sur les insectes, il agit sur le **système** nerveux avec, comme chez l'homme, un retard d'au moins **24 h**.

Usages- En Afrique, le bromure de **méthyle** est utilisé pour le traitement des produits animaux et des semences. Sur la base d'une expérience de vingt ans au **Sénégal**, ROUZIERE (1986) rapporte l'**efficacité** et l'absence d'effet **dépressif** du CH_3Br sur les semences d'arachide de teneur en eau inférieure à **5 %**. Cet auteur note cependant que la fumigation au **bromure** de méthyle entraîne une réduction significative de la germination dès la **troisième** application on que la teneur en eau des graines **dépasse 8 %**. Cette observation est en accord avec de nombreux autres travaux cités par BOND (1990).

Résidus dans les denrées- Le bromure de méthyle ne laisse **généralement** pas de **résidus** dans les denrées. Il peut **néanmoins réagir** avec les constituants du produit traité et donner des bromures inorganiques heureusement **sans risques** majeurs sur la santé humaine (BOND, 1990).

applications, aucun effet **dépressif** sur la germination de graines de sorgho, blé, maïs et arachide n'a **été noté** (ROUZIÈRE, 1986 ; BOND, 1990).

Résidus dans les denrées- Le PH₃ se **libère** rapidement de la **denrée** par **aération**. Les teneurs résiduelles **rencontrées** sont **généralement inférieures** aux limites de 0,1 et 0,01 mg/Kg, admises respectivement pour les **céréales** brutes et produits alimentaires **usinés**. A noter cependant, la **possibilité** de **détecter** des traces de PH₃ sur des **denrées** traitées trop longtemps (DUMAS, 1980). Par ailleurs, il peut se former de petites **quantités** de phosphites et de phosphates, suite à la combinaison du PH₃ avec des **composés** de la **denrée** (TKACHUK, 1972 ; UNDERWOOD (1972), **cité** par BOND, 1990).

1.1.4.3. Résistance des insectes aux fumigants

D'une enquête mondiale sur les insectes des **céréales stockées** (CHAMP & DYTE, 1976), il ressort que 10 % des **espèces possèdent** un certain **degré** de **résistance** à l'**hydrogène** phosphoré, contre 5 % à l'**égard** du bromure de méthyle.

Plusieurs autres auteurs ont mis en évidence des phénomènes de **résistance** aux fumigants, chez un nombre croissant **d'espèces** d'insectes. Il est ainsi **établi** que l'apparition de la résistance est souvent étroitement liée à des conditions d'application **inadéquates** (BELL et *al.*, 1977 ; BORAH & CHALAL, 1979). Parmi les **méthodes préconisées** pour l'éviter, la mise en oeuvre de méthodes de lutte alternatives (BOND, 1990) est l'une des plus **réalistes** pour les pays en voie de développement.

	Bromure de méthyle	Phosphore d'hydrogène
Formule chimique	CH ₃ Br	PH ₃
Point d'ébullition (°C)	3,6 °C	-87,4
Point de congélation (°C)	-93 °C	-133,5
Poids moléculaire	94,94	34,04
Poids spécifique		
Forme gazeuse (air = 1)	3,27 à 0 °C	1 , 2 1 4
Forme liquide (eau à 4 °C = 1)	1,732 à 9 °C	0,746
Chaleur latente de vap.(cal/g)	61,52	102,6
Solubilité dans l'eau	,34g/100ml à 25 °C	26 cm ³ /199 ml (faible)

Tableau 6 - Propriétés physiques et chimiques du bromure de méthyle et de l'hydrogène phosphoré (extrait de BOND, 1990)

1.1.5. Emploi et avenir des fumigants

Les fumigants présentent des caractéristiques uniques garantissant un contrôle efficace des insectes là où d'autres **méthodes** sont inutilisables. En effet, leur **capacité** de diffuser partout leur permet de tuer tous les stades d'insectes, à l'intérieur de la **denrée**, dans des fissures et des crevasses où l'application de produits de contact **s'avère** impossible. Cet avantage explique l'usage de plus en plus **répandu** de ces produits phytosanitaires particuliers.

Néanmoins, les fumigants **présentent** certains **inconvenients**. Ces derniers sont liés d'une part aux nuisances de certains d'entre-eux sur la santé humaine, d'autre part à l'absence de **rémanence** des gaz utilisés. En effet, la fumigation ne **protège** guère contre une éventuelle **réinfestation**.

1.2. Les insecticides de contact

Leur principal avantage en milieu rural réside dans le fait qu'ils demandent peu ou pas de modification des infrastructures de stockage (HINDMARSH et *al.*, 1978). On admet **généralement** pour les **matières** actives destinées à la protection des **denrées stockées** une faible toxicité pour l'homme (de l'ordre de 2000 **mg/Kg**). Les produits autorisés au **Sénégal** sont repris dans le tableau 7.

Parmi les nombreuses **méthodes proposées** pour classer les insecticides de contact, l'une des plus simples consiste à les regrouper en fonction de leur persistance d'action. Ainsi, on distingue les produits de choc, les produits à **durée** moyenne et ceux à longue persistance d'action (MAHAUT, 1990).

1.2.1. Les produits de choc

Ce sont souvent des **spécialités** commerciales à base de dichlorvos ou parfois de **pyréthrines** naturelles **synergisées** avec du **pipéronyl** butoxyde. Ces produits sont **caractérisés** par une tension de vapeur élevée, leur permettant de tuer les stades libres d'insectes dans la masse de **denrées** sans laisser de **résidus**. Très souvent utilisés dans les transactions internationales, ils ont l'inconvénient **d'épargner** les formes **cachées** et ainsi de masquer les infestations latentes.

1.2.2. Les produits à moyenne persistance

Ils sont **généralement** à base de combinaisons binaires entre le dichlorvos et des insecticides organophosphores plus persistants que celui-ci (malathion ; **pyrimiphos-méthyle** ; **chlorpyrifos-méthyle**).

1.2.3. Les produits à longue persistance

Ce sont en général des composés organophosphores ou **pyréthrinoïdes** capables d'assurer une protection pendant au moins six mois. Les plus connus sont le

Matière active Spécialité commerciale	Distributeur	Concentr. en matière active	Formulation	Utilisations
BROMOPHOS] Nexion EC36 Nexion poudre 2% Nexion solution pour nébulisation Nexion WP 25	Calamarck/Rhône-Poulenc Calamarck/Rhône-Poulenc Calamarck/Rhône-Poulenc Calamarck	360 g/l 2% 400 g/l 25%	CE PP liq. pour nébulisation PM	Désinsectisation des stocks de céréales et d'arachide (8 à 12 g/tonne)
[CHLORPYRIPHOS-METHYLE] Reldan	Shell	240 g/l	LP	Désinsectisation des stocks d'arachides (2,5 g/tonne)
[DELTAMETHRINE] k-othrine EC 12,5 k-othrine EC 25 k-othrine 2,5 PM k-othrine 0.05 PP	Procida Procida Pmcida Procida	12,5 g/l 25 g/l 2,5% 0,05%	LP LP PM PP	Désinsectisation des stocks d'arachides, niébé , maïs, sorgho, mil (0,5 à 1 g/tonne)
[DICHLORVOS] Mafu 500 SL Dichlotox 1000 SL Chorvos	Bayer Bayer Sipcam France	500 g/l 1000 g/l 500 g/l	Conc. soluble Conc. soluble LP	Désinsectisation des grains stockés
[FENITROTHION] Folithion 1 DP Folithion 500 EC Folithion 1000 EC Sumitène Foudre Sumithion CE 60 Sumithion 2%	Bayer Bayer Bayer Rhône-Poulenc Shell Shell	1 % 500 g/l 1000 g/l 1,5% 600 g/l 2%	PP CE CE PP CE PP	Désinsectisation des stocks d'arachide et de céréales
[MALATHION] Malagrain émulsion Malagrain poudrage Zithiol Foudre	Procida Procida Rhône-Poulenc	500 g/l 2% 2%	CE PP PP	Désinsectisation des céréales (8 g/tonne)
[PYRIMIPHOS-METHYLE] Actellic 2 PP Actellic 25 PM Actellic 50 EC	ICI/SOFACO Procida ICI/SOFACO Procida ICI/SOFACO Procida	2% 25% 500 g/l	PP PM CE	Désinsectisation des grains stockés (4 g/tonne)

Source: Direction de la Protection des végétaux du Sénégal

Tableau 7 . Insecticides de contacts autorisés pour le traitement des denrées entreposées au Sénégal

pyrimiphos-méthyle, le chlorpyriphos-méthyle, la deltaméthrine et le fénitrothion.

Depuis quelques années, plusieurs cas de résistances aux insecticides organophosphores (CHAMP & DYTE, 1976) ont conduit à une nouvelle conception de la lutte chimique contre les insectes des denrées. Celle-ci repose notamment sur la formulation d'associations binaires (entre **pyréthrinoïdes** et organophosphores) dont l'intérêt a été démontré par plusieurs auteurs (DESMARCHELIER *et al.*, 1981 ; DUGUET, 1989 ; SCHIFFERS *et al.*, 1989).

1.2.4. Effet des **paramètres** du stockage sur les insecticides.

La température, l'**humidité** et la nature de la denrée elle-même sont les trois principaux facteurs qui influencent le comportement des insecticides. Cet effet se traduit par une modification plus ou moins profonde de l'**efficacité** et de la stabilité du produit, en fonction du groupe auquel il appartient.

Cas des organophosphorés

WHITE & NOVICKI (1985) ont montré qu'une **température** de 30 °C appliquée sur du grain trop humide (10 % d'eau), **dégrade** en trois semaines 90 % du malathion appliqué. ABDEL-KADER *et al.* (1980) notent la même tendance du malathion à la température de 27 °C. Quant aux autres organophosphorés, ils présentent une réponse variable aux facteurs climatiques. Ainsi, dans les mêmes conditions, le pyrimiphos-méthyle se **dégrade** moins que le malathion (SCHIFFERS *et al.*, 1987). TYLER & BINNS (1982) rapportent que les températures **élevées** affectent moins l'efficacité du pyrimiphos-méthyle et du **chlorpyriphos-méthyle** que celles du bromophos, du tetrachlorvinphos et de l'iodofenphos. THOMAS *et al.* (1987) montrent que le **chlorpyriphos-méthyle** s'avère peu sensible aux **humidités élevées**.

La stabilité d'un insecticide est également **influencée** par le type de denrée sur laquelle il est appliqué. En effet, à la **température** de 25 °C, la durée de vie du fénitrothion passe de 14 semaines sur le riz à 39 semaines sur le sorgho (DESMARCHELIER, 1978).

Cas des pyréthrinoïdes

Plusieurs auteurs ont mis en **évidence** l'**efficacité** et la stabilité des **pyréthrinoïdes**, dans des conditions élevées de **température** et d'humidité du grain (DUCOM, 1987 ; SAMSON *et al.*, 1987). HAUBRUGE *et al.* (1987) ; SCHIFFERS *et al.* (1987 ; 1989b) ont montré que de tous les insecticides pyréthrinoïdes utilisés, la **deltaméthrine** est celui qui possède à la fois les plus grandes stabilité, **efficacité** et **rémanence** et qui a le spectre le plus large.

1.3. Conclusion

L'examen des nombreuses publications sur la protection chimique des récoltes montre que, malgré leur efficacité, les insecticides de synthèse présentent plusieurs inconvénients. Les pyréthrinoides s'avèrent coûteux et manquent d'efficacité sur certaines espèces. Le dichlorvos malgré son absence d'effet résiduel s'avère trop toxique pour être recommandé en milieu rural.

Sur le plan économique, le coût des pesticides pèse lourd sur le budget des pays concernés. Entre 1980 et 1985, le marché d'importation de pesticides pour l'Afrique au Sud du Sahara était de 290 millions de dollars (FAO, 1990).

Rien qu'au Sénégal, le coût moyen annuel des importations d'insecticides s'élevait en 1990 à 3 milliards de francs CFA (DIATTA, 1991). La protection des denrées stockées représentait déjà 15 % de ce marché dans les années 80, soit 280 millions de francs @PV, citée par GERMAIN & THIAM, 1983). Actuellement elle pourrait atteindre le double, en raison des augmentations enregistrées sur la production agricole.

Toutes ces restrictions limitent l'applicabilité de la protection chimique en milieu rural dans les pays en voie de développement, au profit de méthodes alternatives comme la résistance variétale, le stockage en milieu auto-confine et l'utilisation de plantes dotées de propriétés insecticides.

2. La résistance variétale

L'étude de la résistance variétale aux insectes des denrées stockées a fait l'objet de plusieurs travaux. Ces derniers ont porté sur l'incidence des insectes en fonction des génotypes et sur les facteurs expliquant la réponse des variétés.

Facteurs physiques

SCHOONHOVEN *et al.* (1976) ; ROUT (1973), cite par MILLS (1976) ont montré l'importance du péricarpe des grains de maïs et de sorgho, comme barrière physique de résistance contre *S. zeamais* et *S. cerealella* respectivement.

MANEECHOTI (1974), cité par MILLS (1976) a mis en évidence des corrélations positives entre la dureté, l'épaisseur du péricarpe et la résistance des graines de sorgho à *S. zeamais*, *S. cerealella* et *R. dominica*.

NWANZE *et al.* (1975) ont montré que le comportement de ponte des femelles de *C. maculatus* est influencé par la texture du péricarpe des graines de niébé.

MILLS (1976) ; NWANZE *et al.* (1975) rapportent l'importance de la taille de graines de céréales et de légumineuses sur l'attaque des insectes.

Facteurs chimiques et environnementaux

L'étude de la réponse **variétale** à l'attaque des insectes en fonction de la composition chimique des graines et des facteurs environnants a donné des résultats controversés.

Chez le maïs, certaines **variétés** riches en lysine et en **tryptophane** se sont **avérées** plus sensibles aux attaques de *S. zeamais* (GUPTA et *al.*, 1970 ; CIMMYT, 1971). Dans d'autres cas, la teneur en lysine des graines n'avait aucun effet sur la résistance du maïs aux charançons (SCHOONHOVEN *et al.*, 1972). MILLS (1976) rapporte que la culture d'une même **variété** de sorgho dans différentes régions et sous des doses variables de **fumure** azotée n'entraîne aucune **différence** de **réponse** à l'attaque des insectes des graines stockées. A l'inverse, en Inde, CHAKRABORTY & MATHEW (1972) trouvent que plusieurs variétés de **blé** à haut rendement s'avèrent plus sensibles à *S. Oryzae* lorsqu'elles ne reçoivent pas de fertilisation azotée.

Sources géographiques de la résistance

Plusieurs auteurs ont mis en **évidence** une certaine localisation géographique des sources de **variétés** résistantes (DIAZ, 1967 ; VANDERSCHAAF *et al.*, 1969, cites par MILLS, 1976). Ainsi, les centres d'origine des **espèces végétales** s'avèrent généralement plus riches en matériel génétique résistant, suite à une forte et longue pression de **sélection** (MILLS, 1976).

3. Les méthodes physiques de lutte contre les insectes

3.1. L'irradiation

Il s'agit, par divers **procédés**, de jouer sur la sensibilité des ravageurs 'aux radiations, aux températures extrêmes et à la concentration de l'atmosphère des **infrastructures** de stockage en gaz (oxygène, dioxyde de carbone).

L'irradiation connaît beaucoup de succès ces dernières **années**. Ses principaux avantages sont l'absence de **résidus** et de **résistance**, sa **capacité** de **pénétration** dans des denrées même **emballées** et la rapidité de son application (AHMED, 1990). Selon HENON (1983), aux doses prescrites, l'irradiation **n'altère** aucune des **propriétés** physiques, chimiques et organoleptiques de la denrée. Cependant, elle **présente** deux limitations importantes, à savoir : un investissement initial **très élevé** et la **réticence** des consommateurs face à ce type de traitement.

L'irradiation par des rayons gamma est utilisée dans divers pays contre les insectes des denrées (ELBADRY & AHMED, 1975 ; HEKAL & EL-KADY, 1987). Son principe repose sur l'exposition des populations d'insectes, soit à des doses élevées de rayonnements pour tuer tous les stades de développement de l'insecte,

soit à des doses plus faibles pour stériliser les adultes. Cette dernière est la plus courante.

3.2. L'atmosphère contrôlée

Les infrastructures de stockage sont enrichies en azote ou en dioxyde de carbone dans le but de **réduire** la teneur en oxygène et d'asphyxier les insectes (STOREY, 1975 ; 1978). D'une manière générale, cette technique **s'avère** inapplicable en milieu villageois compte tenu de l'équipement et des connaissances nécessaires pour sa **mise** en oeuvre.

4. La lutte biologique

Certains auteurs ont envisagé l'utilisation de la lutte biologique contre les ravageurs des **denrées stockées**. Contre *C. maculatus* par exemple, plusieurs auteurs ont identifié de nombreux parasites et prédateurs (tableau 8). Dans la pratique, le contrôle biologique des ravageurs des récoltes reste encore au stade **expérimental**.

Insectes auxiliaires	Références
TRICHOGRAMMATIDAE <i>Uscanalariphaga</i> Steffan <i>Uscana mukerjii</i> Mani	MONGE <i>et al.</i> , 1990 ; KAPILA & AGARWAL, 1990 ; PAJANI, 1990
EUELMIDAE <i>Eupelmus orientalis</i> Crawford <i>Eupelmus vuilleti</i> Crawford	MONGE <i>et al.</i> , 1990 ; PREVETT, 1961
PTEROMALIDAE <i>Anisopteromalus calandrae</i> (How.) <i>Chaetospila elegans</i> Westwood <i>Dinarmus basalis</i> (Rondani) <i>Dinarmus vagabundus</i> (Tiiberlake) <i>Lariophaga texacus</i> Crawford	HEONG, 1981 ; PREVETT, 1961 ROJAS-ROUSSE <i>et al.</i> , 1988 ROJAS-ROUSSE <i>et al.</i> , 1988
EURYTOMIDAE <i>Eurytoma</i> sp.	PREVETT, 1961

Tableau 8 • Insectes auxiliaires de *Callosobruchus maculatus* (VAN HUIS, 1991)

5. Les méthodes traditionnelles

Les agriculteurs des régions tropicales, depuis toujours confrontés aux **dégâts** d'insectes, ont adopté des méthodes de protection plus compatibles avec leurs moyens techniques et **financiers**.

La protection chimique, malgré son **efficacité**, se heurte à des contraintes **économiques** ou **liées à** des risques d'accidents et d'apparition d'insectes **résistants**. La **résistance variétale** est **très** adaptée au milieu rural mais comme toute **résistance** verticale, elle risque à tout moment de **s'écrouler** suite à la **résistance** de nouvelles souches d'insectes. Les méthodes physiques d'irradiation gamma ou de stockage en atmosphères **contrôlées nécessitent** souvent une technologie inexistante en milieu rural.

Ces nombreuses contraintes ont conduit plusieurs auteurs à évaluer **l'efficacité** des **méthodes** traditionnelles dans différentes conditions **écologiques**. L'analyse de leurs travaux permet de distinguer les méthodes préventives des **méthodes curatives**.

Les méthodes préventives ont pour but de **réduire** l'infestation initiale des insectes, grâce à des techniques culturales simples. Ainsi pour le **niébé**, la culture **associée**, la **récolte précoce** et **régulière** des gousses ainsi que leur triage avant le stockage sont appliqués au Nigeria (PREVETT, 1961).

Les **méthodes préventives** concernent aussi l'hygiène des infrastructures de stockage et la conservation des graines dans des emballages **étanches** (CASWELL, cité par VAN HUIS, 1991).

Parmi **les méthodes curatives**, on peut citer l'utilisation de la chaleur (ZEHRER, 1980), de substances **minérales** ou inertes (DE LUCA, 1962 ; OFUYA, 1986 ; WOLFSON et *al.*, 1991 ; SWAMIAPPAN et *al.*, 1976 ; HUBER, 1990), le stockage en milieu hermétique (NAVARRO et *al.*, 1990) mais surtout l'utilisation de plantes et de dérivés végétaux (tableau 9).

NOM	ORGANE	FORME	MODE(S) D'ACTION	REFERENCES
<i>Acorus calamus</i> L.	rhizome	poudre & huile	toxicité de contact	YADAVA, 1971 ; SU, 1991
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	graine	poudre & huile	réduction de la fécondité et des émergences, prolongement du cycle ; effets déterrent,ovicide et larvicide	ECHENDU, 1991; IVBIJARO, 1983; SECK <i>et al.</i> , 1991 ; DANIEL & SMITH, 1990; IVBIJARO, 1990
<i>Zingiber officinale</i> (Roscoe.)	rhizome	poudre	diminution de l'oviposition	ECHENDU, 1991
<i>Arachis hypogea</i> L.	graine	huile	diminution de l'oviposition ; actions ovicide et larvicide	BOUGHDAD <i>et al.</i> , 1987; MESSINA & RENWICK, 1983
<i>Ricinus communis</i> L.	graine	huile	réduction des émergences	SINGH <i>et al.</i> , 1978
<i>Butyrospermumparkii</i> (G. Don.) Kotschy	fruit	huile	effet ovicide	PEREIRA, 1983
<i>Cocos nucifera</i> L.	graine	huile	effets ovicide et larvicide	MESSINA & RENWICK, 1983
L. ? → <i>Eucalyptus citriodora</i>	plante entière	huile	effet fumigant	PAJNI & GILL, 1990
<i>Piper guineense</i> Schum & Thonn	graine	huile	réduction des émergences et effet insecticide	IVBIJARO, 1990
<i>Piper nigrum</i> L.	plante entière	poudre	réduction de l'oviposition et effet insecticide	RAJAPAKSE, 1990; SU, 1977;
<i>Citrus</i> sp.	fruit & huile	pelure	effet insecticide ; réduction de la ponte	SU & HORVAT, 1987 ; DON-PEDRO 1985

Tableau 9 • Plantes et dérivés végétaux utilisés contre *Callosobruchus maculatus*.

6. Les nouvelles substances d'origine végétale

6.1. Introduction

La **référence** la plus ancienne sur les plantes toxiques est trouvée dans le **Rigveda**, livre classique de l'**Indouisme** composé au second **millénaire** avant Jésus-Christ (AHMED & GRAINGE, 1986).

De l'antiquité à la découverte des insecticides modernes, l'homme a toujours lutté contre les ravageurs des cultures en utilisant des **végétaux**. En témoignent de nombreuses **références** montrant que les civilisations anciennes ont très vite exploité les **propriétés** biocides de plantes bien connues.

FENSTEIN (1952) rapporte les découvertes de l'effet rodenticide *Veratrum alba* par les anciens romains et des propriétés **insecticides** des **espèces de Derris** par les Chinois. En Dalmatie (Yougoslavie), *Chrysanthemum cinerariaefolium* Visiani, **spontanée** des sols calcaires, **était** utilisée comme insecticide depuis longtemps (NELSON, 1975). En Europe, l'effet insecticide des **préparations végétales** à base de *Nicotiana tabacum* L. est connu depuis plus de deux à trois siècles (AHMED & GRAINGE, 1986 ; BENNER, 1993).

Au cours des vingt dernières années, de nombreuses **synthèses** bibliographiques permettent de répertorier plusieurs milliers d'espèces **végétales** actives ou **déjà testées** contre les ravageurs des cultures et des récoltes (SCHENK-HAMLIN & WRIGHT, 1980 ; GOLOB & WEBLEY, 1980 ; REES et *al.*, 1993).

Jadis **utilisées** sur des bases empiriques, les substances biocides d'origine végétale font aujourd'hui l'objet de recherches approfondies portant non seulement sur les principes actifs mais aussi les mécanismes impliqués.

6.2. Les substances naturelles insecticides des plantes

Avec plus de 400.000 substances chimiques (terpènes, alcaloïdes, phénols, tannins...), le **règne végétal** constitue la plus grande source de produits naturels du monde (SHOONHOVEN, 1978). Les plantes synthétisent de nombreux **métabolites** secondaires dotés de **propriétés répulsives, anti-appétantes** ou biocides à l'égard des herbivores (tableau 10).

Les **molécules** décrites dans le cadre de la lutte contre les insectes ravageurs des cultures et des récoltes ont **généralement** la capacité d'agir sur une multitude de **cibles**.

Groupe chimique	Nombre de produits actifs identifiés
Alcaloïdes	4500
Flavonoïdes	1200
Terpènes	1100
Autres	3600
Total	10400

Tableau 10 • Substances secondaires d'origine végétale (SWAIN, 1977)

6.3. Les cibles des toxines naturelles des plantes

6.3.1. Le système nerveux

Parmi les **molécules** qui agissent sur le **système** nerveux des insectes, les plus connues appartiennent **généralement** au groupe des alcaloïdes et des **pyréthrinoïdes**.

Alcaloïdes • Le premier alcaloïde d'origine **végétale** qui a été décrit est la nicotine (figure 4A). Elle est **synthétisée** par différentes **espèces végétales** du genre *Nicotiana* mais sa principale **source** est *Nicotiana rustica* L. (BENNER, 1993). Sa principale cible est le **récepteur à l'acétylcholine**.

Pyréthrinoïdes • La **pyréthine 1** (figure 4B) est la première **pyréthrine** naturelle isolée à partir des fleurs **séchées** de *Chrysanthemum cinerarefolium* Visiani. Le mode d'action des **pyréthrinoïdes** repose sur la fermeture des canaux sodium qui sont ouverts durant l'activité nerveuse normale. Il en résulte une **pénétration** des ions sodium dans le neurone, induisant des **bouffées** répétitives de potentiels d'action. La mort des insectes survient rapidement, suite au blocage du système nerveux.

6.3.2. Systèmes hormonaux

Les molécules intervenant sur les systèmes hormonaux ont pour cible l'hormone juvénile ou l'ecdysone.

L'hormone juvénile • Le **précosène** (figure 4C), isolé en 1976 de *Ageratum mexicanum*, est la première molécule dont les effets sur l'hormone juvénile ont été rapportés. Le **précosène** inhibe la **sécrétion** de l'hormone juvénile et entraîne

une **métamorphose précoce** chez les insectes. Cet effet résulte de la destruction des corpora **alata**, conduisant à une atrophie des glandes **sécrétrices** des insectes qui finissent par mourir.

L'ecdysone - L'azadirachtine (figure 4D) est la première molécule d'origine **végétale décrite** dont les cibles primaires sont les sites **répondant à l'ecdysone**. Isolée de *Azadirachta indica* A. Juss., en 1968, sa structure **finale n'a été élucidée** qu'en 1985 (LEY, 1990, cite par BENNER, 1993). Les effets de l'azadirachtine se traduisent, d'une part par un arrêt du développement larvaire et un blocage des mues, d'autre part par une inhibition de l'alimentation. Nous reviendrons plus loin sur cette **molécule**.

6.4. Conclusion

Les substances défensives des plantes ont servi d'insecticide avant l'utilisation des produits de **synthèse** modernes. La **littérature** mentionne plusieurs exemples de plantes dont les **propriétés** insecticides ont orienté la mise au point de produits commerciaux modernes **très** actifs. L'obtention de **pyréthinoïdes** de **synthèse** (plus efficaces et surtout plus stables à la lumière) à partir de la structure de base des **pyréthrines** naturelles, constituent sans doute la meilleure illustration de ce fait (BENNER, 1993).

**EXPERIMENTATIONS DE TERRAIN
ET DE LABORATOIRE**

CHAPITRE I

Etudes sur l'écosystème du mil stocké au Sénégal

1. Objectif

Le **mil** (*Pennisetum americanum* (L) Schum), millet ou petit mil est la principale **céréale** vivrière en milieu rural **sahélien** où il est cultivé depuis des temps **immémoriaux** (NDOYE & GAHUKAR, 1987). Au **Sénégal**, il est cultivé en rotation avec le **niébé**, soit dans des champs **éloignés** situés à plusieurs kilomètres des villages ou alors à proximité du village. Dans ce dernier cas, il porte le nom de mil de case. La culture du mil occupe une superficie de plus d'un million **d'hectares**, pour une production annuelle d'environ 530.000 tonnes. Le binôme **mil-niébé** constitue le **système** vivrier **caractérisant** sans doute le mieux la civilisation sahélienne.

A la **récolte**, la production est parfois battue et conservée en sacs mais le plus souvent elle **est** stockée sous forme **d'épis** entiers dans des greniers traditionnels en branches de *Guiera senegalensis* J.F. Gmel. Dans ces conditions de stockage, huit ravageurs ont été identifiés (tableau 11). Parmi ceux-ci, *Sitotroga cerealella* est de loin le plus dommageable (SECK, 1983). Si sa biologie est bien connue (MILLS, 1965 ; MILLS & WILBUR, 1967 ; AYERTEY, 1975), il n'en est pas de même pour son écologie sur laquelle aucune étude de terrain n'a encore été menée en Afrique sahélienne. Cette lacune nous a conduit à étudier dans une Première étape l'infestation initiale de *S. cerealella* **et., dans** une seconde phase à suivre les fluctuations saisonnières des populations d'insectes ravageurs du mil stocké au **Sénégal**.

2. Infestation initiale de *S. cerealella* en fonction des champs de mil

2.1. Matériel et méthodes

L'étude a été menée dans trois localités situées à une soixantaine de kilomètres l'une de l'autre : (1) Diamaguène (département de Nioro) ; (2) Sokone (département de Fatick) ; (3) Gossas (département de Gossas).

Trente jours **après** le semis, on a choisi dans chaque site un champ de case et un champ éloigné appartenant au même paysan. A la récolte du mil, quarante **épis** sont **prélevés** de chaque champ et **ramenés** au laboratoire où ils sont **étiquetés** et **protégés** contre l'infestation extérieure à l'aide de charpentes métalliques recouvertes de pièces de tissu en coton. Après une incubation de trente jours à la température moyenne de 30° C (pour laisser **émerger** les insectes), les **dégâts** de *S. cerealella* sont **évalués** en comptant le nombre moyen de trous de sortie

d'alucites par **unité** de surface **d'épi**. Ce **dénombrement** est effectuée par **épi**, sur trois rondelles de cinq **centimètres situées** respectivement **à** la base, au milieu et au sommet de **l'épi**. Les dégâts ainsi évalués sont exprimés en nombre de grains **attaqués** par **centimètre** carré **d'épi** (nga/cm^2).

Ordres	Espèces	Familles
Lepidoptera	<i>Corcyra cephalonica</i> Stnt.	Galleridae
	<i>Ephestia cautella</i> Wlk.	Phycitidae
	<i>Sitotroga cerealella</i> Oliv.	Gelechiidae
Coleoptera	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> L.	Silvanidae
	<i>Oryzaephilus mercator</i> Faus.	Silvanidae
	<i>Rhyzopertha dominica</i> F.	Bosuychidae
	<i>Tribolium castaneum</i> Herbst.	Tenebrionidae
	<i>Cryptolestes</i> sp.	Cucuiidae

Tableau 11 . Principaux insectes ravageurs du mil stocké au Sénégal (SECK, 1983)

2.2. Résultats et discussion

Les résultats obtenus montrent que les champs de case de toutes les localités sont attaqués, contrairement aux champs **éloignés** qui ne le sont que dans un cas sur trois (à Gossas). L'infestation moyenne des trois **localités** a été de $0,2 \text{ ga/cm}^2$ pour les champs de case et de $0,02 \text{ ga/cm}^2$ pour les champs **éloignés**, soit dix fois moins dans le cas de ces derniers. L'infestation moyenne par site a été de $0,10 \text{ ga/cm}^2$ à Gossas, $0,12 \text{ ga/cm}^2$ à Sokone, et $0,09 \text{ ga/cm}^2$ à Diamaguene (tableau 12)

Type de champ	Nombre de grains attaqués par 100 cm ²			
	Diamaguene	Sokone	Gossas	Moyenne
Champ de case	18,0	18,3	19,3	18,5 a
Champ éloigné	0,0	5,3	0,0	1,8 b

Tableau 12 . Infestation initiale de *Sitotroga cerealella* sur mil au Sénégal

L'analyse de la **variance** des **données** a révélé une différence hautement significative entre l'infestation initiale des champs de case et celle des champs éloignés. Par contre, la différence d'infestation entre les trois sites n'est pas significative.

Ces **résultats** démontrent l'infestation au champ de l'alucite sur le mil au **Sénégal**. Ils s'accordent ainsi et **complètent** les **données précédemment** obtenues sur le riz par GANESALINGHAM & KRISHNARAIHAH (1979) et sur le maïs par CANDARDEL & STGCKEL (1972).

Par contre, la plus grande infestation des champs de case par rapport aux champs éloignés constitue une observation différente de celle de GANASALINGHAM & KRISHNARAJAH (1979) au Bangladesh, indiquant que la position des champs de riz par rapport aux habitations n'avait aucune incidence sur l'infestation initiale de *S. cerealella*. Si cette **dernière** observation peut s'expliquer par la **rapidité d'écoulement** des stocks, **liée** à la pratique de plusieurs cycles de culture de riz par an, il **en** est tout autre pour le mil. En effet, dans le cas du mil, la **différence** observée s'explique par une longue **durée** de stockage et par la structure des greniers en matière **végétale** tise. Cette méthode de stockage **particulière** permet le maintien en permanence d'une population de *S. cerealella* dont le pic se situe pendant la saison des pluies, entre juillet et septembre suivant les années. Les parois des greniers **n'étant** pas étanches, les adultes émergeant du grain stocké peuvent sortir et infester les Cpis des champs de case voisins.

Pour le seul cas de champ **éloigné** contaminé, deux hypothèses peuvent être **formulées** mais l'une comme l'autre **mérite** des investigations **supplémentaires**. La première est que la direction du vent a pu permettre à quelques adultes de migrer des greniers les plus proches vers le champ situé à plus ou moins deux kilomètres ; la seconde est l'existence de **graminées** sauvages hôtes, permettant la conservation et la multiplication primaire de l'alucite (CANDARDEL & STGCKEL, 1972).

A noter que si le niveau maximum des **dégâts** observés ($0,2 \text{ ga/cm}^2$) paraît relativement faible, ce chiffre est **inférieur** à ceux de **1,4 à 2** relevés lors d'observations **précédentes** sur des **épis** de champs de case trois semaines **après** la récolte (SECK, non publié).

3. Fluctuations saisonnières des populations d'insectes

3.1. Matériel et méthodes

L'**étude** a **été** menée en station au cours de deux **années** successives sur un grenier traditionnel **expérimental** cylindrique ayant un **diamètre** de 180 cm et une hauteur de 130 cm. Il est posé sur une plate-forme en bois à 50 cm du sol et rempli d'**épis** de mil (**variété** souna-3) récoltés au mois d'octobre 1985. De la récolte au stockage (janvier 1986), les **épis** étaient **séchés** au soleil, tel que pratique par les paysans. Aucun **prélèvement d'épi** n'a été effectué pendant toute la **durée** du piégeage.

Les pièges utilisés (figure 5) sont en papier chromo-attractif jaune, rectangulaires, de 40 cm^2 (8 cm x 5) et sont enduits sur leurs deux faces d'une glu de type «Tanglefoot» (Polybutène 97% + Huile de ricin hydrogénée 3%). Le piège est **fixé** sur un bâton de 15 cm de long, **légèrement** enfoncé dans la paroi **extérieure** du grenier, à 150 cm du sol et 30 cm du bord supérieur du grenier. Au moment de la collecte qui a lieu chaque semaine, les **pièges** sont remplacés et les insectes capturés triés par **espèce**, indépendamment du sexe. A partir d'un poste **météorologique** situé à 800 m du grenier, la température et l'humidité relative moyennes hebdomadaires sont **relevées** pendant toute la durée de l'**expérimentation**.

3.2. Résultats et discussion

Trois **espèces** de Coléoptères (*Rhizopertha dominica* F., *Cryptolestes* sp., *Tribolium castaneum* Herbst) et deux **espèces** de Lépidoptères (*Ephestia cautella* Wlk. ; *Sitotroga cerealella* Oliv.) ont **été** capturées. *S. cerealella* est l'espèce la plus abondante, représentant à elle seule 52% de la population totale piégée. Arrivent ensuite **dans** l'ordre décroissant *E. cautella* (18%), *T. castaneum* (10,4%), *Cryptolestes* sp. (10,1%) et *R. dominica* (9,9%).

L'examen des captures mensuelles (figure 6) montre que le nombre d'insectes **piégés** est relativement plus important de juillet à septembre. Il apparaît d'autre part une moindre **représentation** des "ravageurs secondaires" comme *T. castaneum* et *Cryptolestes* sp. (figure 6B), par rapport au "ravageur primaire" *S. cerealella* (figure 6A). Cette répartition concorde avec les **données** disponibles sur la colonisation de ces **différentes** espèces en fonction du type de substrat (GAHUKAR, 1976 ; PRUTHI & SINGH, 1950).

L'observation du graphique de captures de *S. cerealella* sur deux années (figure 6A), montre une population présentant deux périodes d'activité maximale, dont lune (1986) est deux fois plus importante que l'autre (1987).

La position des deux maxima s'explique sans nul doute par la localisation de la saison des pluies pendant cette période.

A ce moment en effet, l'humidité relative élevée de l'air augmente la teneur en eau du mil selon le principe d'équilibre air/grain (GOUGH & KING, 1980).

A partir du mois d'octobre 1986, on note une réduction progressive des captures qui restent faibles jusqu'à la deuxième semaine d'avril 1987. Les populations disparaissent complètement de la deuxième semaine d'avril à la fin du mois de juin 1987. Elles ne réapparaîtront qu'à partir du mois suivant, avec pour le trimestre juillet-août-septembre, un profil de captures tout à fait comparable à celui du même trimestre de l'année 1986.

En ce qui concerne les faibles captures notées de décembre 1986 à avril 1987, elles peuvent être expliquées aussi bien par les basses températures (CANDARDEL & STOCKEL, 1972) que par l'humidité relative très faible qui ont régné durant cette période.

4. Conclusion

Il apparaît donc que les denrées stockées en milieu rural sont attaquées par de nombreux insectes dont les pullulations et les dégâts varient en fonction des conditions de culture et de la période de l'année. Pour contrôler ces ravageurs, diverses méthodes préventives et curatives ont été proposées, lesquelles ont été largement développées dans la partie bibliographique.

Il apparaît donc que les denrées stockées en milieu rural sont attaquées par de nombreux insectes dont les pullulations et les dégâts varient en fonction des conditions de culture et de la période de l'année. Pour contrôler ces ravageurs, diverses méthodes préventives et curatives ont été proposées, lesquelles ont été largement développées dans la partie bibliographique.

Dans la suite du travail, nous aborderons la protection des récoltes de niébé, compte tenu de l'intérêt de cette légumineuse pour les pays pauvres et des perspectives de développement de sa culture au Sénégal.

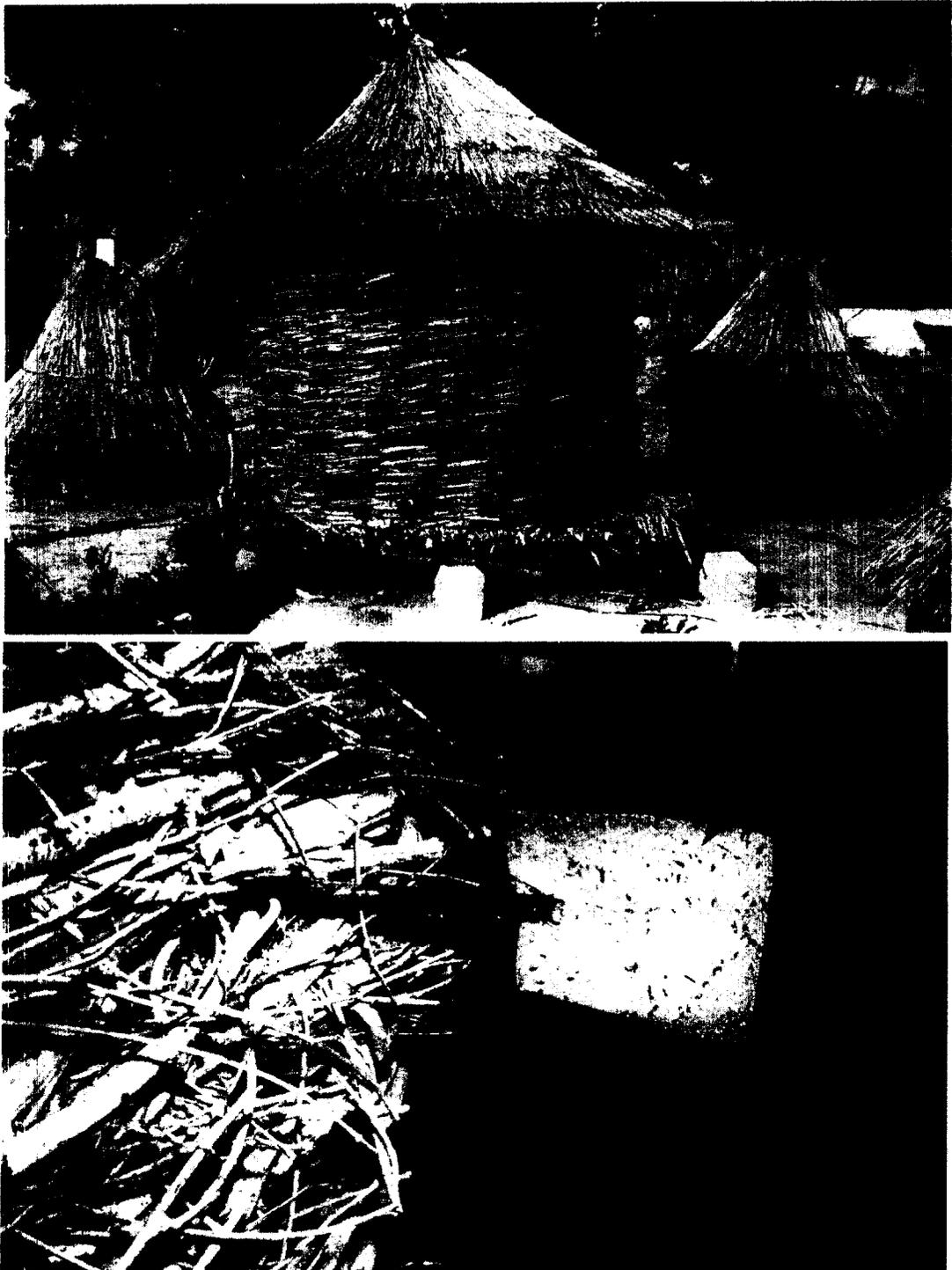


Figure 5 - Dispositif de piégeage des insectes du mil stocké

CHAPITRE II

Recherches sur le stockage du niébé au Sénégal

1. Historique des recherches sur le niébé au Sénégal

Le **niébé**, longtemps reste une spéculation traditionnelle secondaire de subsistance, était cultivée en association avec le mil ou l'arachide et n'intéressait guère la recherche agricole **sénégalaise**.

Les premières recherches sur le **niébé** au Sénégal ont débuté en 1958 au Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey. Principalement **axées**, au début, sur l'**amélioration variétale**, elles se sont progressivement diversifiées pour prendre en compte l'agronomie, la physiologie, la rhizobiologie, l'entomologie, la phytopathologie et la protection des récoltes.

En 1980, un projet de collaboration est **créé** entre l'**ISRA** et l'Université de California-Riverside, dans le cadre du **CRSP**⁽¹⁾ et grâce au financement de l'**USAID**⁽²⁾. L'objectif de ce projet était d'abord de moderniser et de rentabiliser la culture du **niébé**. C'était aussi de la substituer à la monoculture arachidière et à la culture du mil, dans la zone Nord du **Sénégal** devenue trop sèche pour ces cultures.

La **réalisation** de ces objectifs nécessitait l'introduction ou la **création** de **variétés** adaptées de **niébé**, en utilisant des techniques culturales et de protection phytosanitaires **efficaces** ainsi que des **méthodes** de stockage **appropriées**.

Dans le **présent** chapitre consacré aux travaux menés sur le stockage du **niébé**, nous étudierons successivement la protection chimique et tenterons de rechercher trois **méthodes** alternatives de protection de la **récolte**.

2. La protection chimique

2.1. Objectif

L'importance des **dégâts** occasionnés par *C. maculatus* dans toutes les conditions de stockage a conduit les firmes phytopharmaceutiques à proposer plusieurs produits de traitement.

Dans ce travail, nous **évaluerons** l'efficacité sur *C. maculatus* et l'action résiduelle de la **deltaméthrine**, du pyrimiphos-méthyle et de deux formulations d'une

(1) Collaborative Research Support Program

(2) United State **Agency** for International Development

association binaire **fénitrothion-cyfluthrine**. Ces produits souvent **employés** en protection des **denrées** sont utilisés au **Sénégal** pour le traitement des arachides **stockées**.

2.2. Matériel et méthodes

Les insecticides testés sont repris dans le tableau 13. La **variété** de **niébé** utilisée est " 58-57 ", la plus répandue dans le Nord et le centre du Bassin arachidier **sénégalais**.

Nom commercial	Matière active	Concentration	Dose
Actellic PP	Pyrimiphos-méthyle	2%	50g PC/100 kg
Folithrine pp (Fol P)	Fenitrothion + Cyfluthrine	4% + 0,1 %	25 g PC/100 kg
Folithrine EC (Fol L)	Fenitrothion + Cyfluthrine	10 % + 2,5 %	8 ml PC/l d'eau/tonne
K-Othrine grain PP	Deltaméthrine	0,2 %	50g PC/100 kg

Tableau 13 - Insecticides testés

Deux **séries** d'expérimentations sont conduites au laboratoire et en milieu villageois. A l'exception des graines destinées **à l'étude** de l'efficacité résiduelle, qui ont **été** d'abord **fumiguées** au phosphore **d'hydrogène** à la dose de $1g/m^3$, le **niébé** utilisé n'a subi aucun traitement préalable. Son niveau de dégât initial **était** de 2 à 3 % de grains attaqués.

Tests au laboratoire - Pour mesurer l'efficacité résiduelle (ER) des graines **traitées**, des tests biologiques sont effectués en laboratoire tout au long de la **période** de stockage.

Pour chaque formulation d'insecticide, cinq **répétitions** de 40 g de **niébé** sont infestées avec 20 adultes de *C. maculatus* âgés d'un jour. Après 72 heures de contact, on compte les insectes morts tant dans les lots traités que dans les lots

non traitées. L'efficacité résiduelle, exprimée en pourcentage de mortalité corrigée, est calculée en appliquant la formule d'ABBOT (1925).

Tests en milieu villageois - Cinq répétitions de 20 kg de graines de niébé sont traitées pour chaque formulation d'insecticide. La bonne repartition des produits sur la denrée est assurée en utilisant une poudreuse de type "Baratte" (APPERT & DEUSE, 1982). Il s'agit d'un tonneau métallique hermétiquement fermé, pose sur un châssis à un mètre du sol et traversé par un axe oblique par rapport à celui du tonneau. Après le traitement, les graines sont introduites dans des sacs en jute d'un diamètre de 0,2 m et d'une hauteur de 1 m.

L'infestation et les dégâts de *C. maculatus* sont suivis dans chaque sac, en y prélevant tous les mois un échantillon de 250 g de niébé. L'infestation est mesurée en comptant le nombre d'insectes présents. Lors de l'élaboration des résultats, on distingue l'infestation active (nombre d'insectes vivants par kg de denrée) et l'infestation totale (nombre total d'insectes par kg de graines). Le pourcentage de graines attaquées (PA) est évalué en triant les graines trouées de chaque échantillon et en rapportant la valeur obtenue au nombre total de graines de l'échantillon. Toutes les données sont soumises à une analyse bi-factorielle en considérant la durée de stockage et le traitement comme sources de variation. Le test de NEWMAN-KEULS a ensuite été utilisé pour comparer les différentes moyennes.

2.3. Résultats et discussion

Tests en laboratoire - Les résultats de l'efficacité résiduelle des différentes formulations d'insecticides à l'égard de *C. maculatus* sont repris dans le tableau 14. Ils montrent que sur une période de 6 mois, la deltaméthrine, le pyrimiphos-méthyle et le mélange "fenitrothion + cyfluthrine" font tous preuve d'une très grande efficacité sur *C. maculatus*.

Tests en milieu villageois - L'observation des résultats obtenus (tableau 15) montre qu'au début du stockage, l'évolution de l'infestation et des dégâts de *C. maculatus* sont comparables sur les graines traitées à la deltaméthrine et sur celles traitées au pyrimiphos-méthyle.

Le pourcentage de graines attaquées et l'infestation au 2ème mois de stockage sont respectivement au maximum de 7% et 5 insectes par kg respectivement dans les graines traitées, contre 31,2% et 30 bruches vivantes par kg dans le témoin non traité. A partir du 4ème mois de stockage, le pyrimiphos-méthyle ne permet plus un contrôle efficace ni de l'infestation ni des dégâts occasionnés par *C. maculatus*. Dans les mêmes conditions, la deltaméthrine assure une protection bien plus longue. En effet, au 7ème mois de stockage, le pourcentage de graines attaquées et le nombre d'insectes vivants/kg ne dépassent pas 9% et 15 individus par kg respectivement dans les graines traitées à la deltaméthrine, contre 80% et 276 individus par kg dans celles traitées au pyrimiphos-méthyle.

Année	Durée de stockage (mois)	INSECTICIDES		
		K-OTHRINEPP	FOLITHRINEEC	F O L - F T
1988	1	55	85	60
	2	91	100	100
	3	100	100	100
	4	100	100	100
	5	86	100	79
	6	94	88	100
	7	35	65	65
1989		K-OTHRINE	ACTELICPP	-
	2	100	100	
	4	100	100	
	6	100	100	
	7	28	25	

Tableau 14 - Evolution de l'efficacité résiduelle (en % de mortalité corrigée) de quatre insecticides sur *C. maculatus* au Sénégal

Année	Durée de stockage (en mois)	Pourcentage des graines de niébé (PA)			Nombre d'insectes vivants par kg de niébé		
		Insecticides			Insecticides		
		Témoin	Pyrimiphos-méthyle	Deltaméthrine	Témoin	Pyrimiphos-méthyle	Deltaméthrine
1987	1	1,9a	1,7a	1,5a	0,0a	0,0a	0,0a
	2	8,8b	1,8a	1,7a	19,0b	6,0a	5,0a
	3	31,2b	1,7a	1,3a	74,0b	6,0a	6,0a
	4	32,9c	7,4b	1,7a	238,0b	10,0a	10,0a
	5	46,0c	20,3b	1,5a	219,0b	97,0b	1,0a
	6	82,0c	42,7b	2,2a	76,0b	93,0b	2,0a
	7	0,5c	80,0b	3,7a	15,0b	276,0c	2,0a
1989	2	12,6b	7,6a	7,3a	30,0b	0,0a	0,0a
	3	93,8c	13,3b	5,5a	65,0c	22,0b	1,0a
	4	98,1c	17,0b	9,0a	123,0c	68,0b	2,0a
	6	99,1c	50,1b	7,3a	23,0c	126,0b	15,0a

Dans une même ligne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes; à un niveau 0,05 (Test de Newman Keul)

Tableau 15 - Evolution de l'infestation et des dégâts de *Callosobruchus maculatus* sur niébé traité avec différents insecticides au Sénégal

L'évolution de l'infestation totale de *C. maculatus* sur deux années se traduit par une moindre population d'insectes avec la **deltaméthrine** qu'avec le **pyrimiphos-méthyle** (figure 7).

Les **expérimentations menées** pendant deux années successives au laboratoire et sur le terrain montrent que **dans** les conditions du Sénégal, le **mélange** binaire "fenitrothion + **cyfluthrine**" d'une part, la **deltaméthrine** d'autre part, **s'avèrent** les plus efficaces sur *C. maculatus* pendant 6 à 7 mois.

Cette grande efficacité de la **deltaméthrine** sur *C. maculatus* concorde avec les **résultats** de plusieurs autres auteurs (DUGUET & GIN XIN, 1986 ; EVANS, 1985 ; HUSSEIN & ABDEL-AAL, 1982 ; PIERRARD, 1983)

Les essais en milieu villageois ont mis en **évidence** un contrôle insuffisant de la **bruche** du **niébé** par l'application du **pyrimiphos-méthyle**, utilisé au **Sénégal** depuis plus de dix ans. Ceci confirme le fait que malgré son efficacité, la lutte chimique **en** milieu rural n'est pas sans risque de voir apparaître des souches d'insectes tolérants. Ces derniers peuvent, sans mesure appropriée, devenir résistants **à** moyen ou long terme. Pour cette raison, d'autres méthodes alternatives doivent être **recherchées**.

Dans les chapitres qui suivent, nous envisagerons successivement la résistance **variétale**, le stockage en milieu auto-confiné et l'utilisation de substances biocides d'origine **végétale**.

3. La résistance variétale du niébé à *C. maculatus*

3.1. Objectifs

Le développement de variétés de niébé résistantes à *C. maculatus* est une solution très intéressante pour les agriculteurs. En effet, la résistance variétale évite tous les inconvénients liés à la lutte chimique, tout en étant plus facilement acceptée par les populations locales (YADAVA & BHATNAGAR, 1987).

Le plus important programme mené dans ce domaine est sans doute celui de l'ITA au Nigeria. Son objectif à long terme est la mise au point de cultivars de niébé possédant une résistance multiple aux insectes nuisibles (DGBIE, 1981 ; LAWANI, 1989 & SINGH, 1977). Il a permis d'obtenir trois variétés résistantes (TVu 2027 ; TVu 11952 ; TVu 11953) mais malheureusement peu productives et trop sensibles aux maladies pour être diffusées en milieu rural (ADJADI *et al.*, 1985 ; SINGH *et al.*, 1985). Elles sont souvent utilisées comme parents pour améliorer la résistance des variétés sensibles à *C. maculatus*.

L'amélioration d'une variété est un travail difficile. Il vise l'obtention d'un produit résistant à plusieurs déprédateurs à la fois et possédant des performances agronomiques au moins équivalentes à celles des variétés de départ ainsi qu'une parfaite adaptation aux conditions locales. Cette difficulté étant d'autant plus importante que les variétés à croiser sont d'origines écologiques différentes, il s'avère intéressant d'utiliser les sources locales de résistance lorsqu'elles existent. L'identification de ces dernières passe par un screening fiable du matériel indigène, objet du présent travail.

3.2. Matériel et méthodes

80 variétés provenant de la collection de travail du programme d'amélioration variétale de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA) ont été évaluées vis-à-vis de l'attaque de *C. maculatus*. Les essais ont été conduits dans des boîtes de pétri (Ø 90 mm) dans lesquelles trois adultes fraîchement éclos (1 mâle + 2 femelles) ont été mis à pondre sur 10 graines de niébé de chaque variété.

Les insectes utilisés proviennent d'une souche de *C. maculatus*, élevée pendant plusieurs générations sur la variété de niébé sénégalaise 58-57. Les conditions contrôlées de température et d'humidité relative sont respectivement de $30 \pm 2^\circ\text{C}$ et $70 \pm 10\%$. Dix jours après l'infestation (JAI) du niébé, les insectes sont retirés et on compte le nombre d'oeufs pondus sur les graines. Au 25^e JAI (quand les adultes F1 commencent à sortir) le nombre d'émergences journalières est noté jusqu'au 42^e JAI. Sur la base du nombre total d'adultes émergeant et d'oeufs pondus sur les graines, le pourcentage d'émergence est calculé pour chaque variété. Les données sont ensuite soumises à une analyse de la variance suivie du test de

DUNCAN pour classer les différentes **variétés** en fonction de leur niveau de **résistance** à l'insecte.

3.3. Résultats et discussion

Taux de réussite (TR) : le pourcentage d'émergence varie de **79,2%** pour la **variété** 66-67 à 0 pour la **variété** 59-26. L'analyse de la **variance** indique une **différence** significative entre **variétés**. L'observation du classement du pourcentage d'émergence des adultes montre que seules six **variétés** parmi les 80 testées, à savoir : **59-26 ; 59-12 ; 58-28 ; 66-50 ; 66-5** et **58-16-D1** présentent un taux d'émergence **inférieur** à 10 % (tableau 16).

Nombre moyen d'oeufs par graine : le nombre moyen d'oeufs par graine varie de **7,4** sur la **variété** 58-57 à **0,2** sur la **variété** 66-5. Le rapprochement de la ponte par graine avec le pourcentage d'émergence, montre **qu'à** l'exception de la **variété** 59-12 (**6,1 oeufs/graine**), cinq des six **variétés** pour lesquelles le pourcentage d'émergence de *C. maculatus* ne dépasse pas 10 % étaient aussi **très** peu attractives pour la ponte. Le nombre d'oeufs / graine de ces **dernières** varie de **0,2** sur la **variété** 66-5 à **1,2** sur la **variété** 66-50, ce qui **représente** respectivement 46 à 6 fois moins de ponte que sur la **variété** 58-57, la plus sensible (tableau 17).

Progéniture des adultes : le nombre total d'adultes **F1** varie de 54 pour la **variété** 58-57 à 0 pour la **variété** 59-26 et montre à nouveau la même tendance que celle **observée** pour le pourcentage d'émergence et le nombre d'oeufs par graine (tableau 18).

L'observation du rythme **d'émergence** montre que la **variété résistante** 58-16-D1 est **caractérisée** par une **émergence** faible et étalée dans le temps. À l'inverse, la **variété** la plus sensible présente un profil extrêmement groupé, avec 61 % de la descendance **émergeant** dans les cinq premiers jours (tableau 19).

Variétés	Taux de réussite (TR)		Variétés	Taux de réussite (TR)	
66-67	79,2	A	66-76	30,6	A-H
58-57	76,2	A-B	59-13	343	A-H
58-79 T	70,5	A-C	58-191	29,1	A-H
66-65	67,4	A-D	58-74-D1-B1	29,0	A-H
58-79-D2-B1	63,9	A-E	58-39	28,6	A-H
58-29	62,2	A-F	66-47	28,1	A-H
58-12	54,0	A-G	58-74-D1-C2	27,6	A-H
66-14	58,1	A-G	58-95-D3	27,2	A-H
66-41	56,5	A-G	66-73	27,1	A-H
66-53	55,9	A-G	58-81	27,0	A-H
66-69	55,8	A-G	66-2	26,6	A-H
66-48	55,0	A-H	59-30	26,6	A-H
66-61	53,2	A-H	58-3	25,2	A-H
59-24 T	51,4	A-H	66-21	25,2	A-H
66-36	50,7	A-H	66-64	24,6	A-H
58-161	54,4	A-H	58-95-D2	24,5	A-H
66-1	54,4	A-H	58-20	24,0	B-H
66-38	49,0	A-H	58-43	23,1	B-H
66-57	48,2	A-H	59-20 B	20,9	C-G
66-72	47,9	A-H	58-51	20,8	C-H
58-52	44,0	A-H	66-22	20,4	C-H
66-40	43,4	A-H	58-154	24,2	C-H
63-6	42,9	A-H	58-95-D2-B2	19,7	C-H
66-42	42,0	A-H	58-16 T	19,6	C-H
58-44	40,8	A-H	58-80	18,7	C-H
66-66	40,1	A-H	58-162	18,5	C-H
58-74-D1-C1	39,9	A-H	59-21	17,8	C-H
58-74	38,9	A-H	66-27	17,2	C-H
58-24	38,6	A-H	59-25	16,2	C-H
58-4	36,6	A-H	66-49	15,7	C-H
66-77	36,3	A-H	58-30	15,4	C-H
58-19	36,1	A-H	77-70	13,3	D-H
58-47	35,8	A-H	58-2	10,5	E-H
58-41	34,5	A-H	58-79-D2-A2	10,3	E-H
58-77		A-H			E-H
58-79-D2-A1	33,2	A-H	58-16-D1 ⁶⁶⁻⁵	7,1	F-H
58-32	32,3	A-H	66-50	6,8	GH
58-151	31,1	A-H	58-28	6,6	GH
58-58	31,0	A-H	59-12	6,0	GH
58-146	30,8	A-H	59-26	0,0	H.

Dans une même colonne les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0.05 (Test de DUNCAN)

Tableau 16 • Taux de réussite (TR) du développement de *Callosobruchus maculatus* sur 80 variétés de niébé originaires du Sénégal

Variétés	Nbre d'oeufs/graine		Variétés	Nbre d'oeufs/graine	
58-57	7,4	A	58-24	1,8	C-F
58-95-D3	7,3	A	58-146	1,8	C-F
66-40	7,0	AB	58-12	1,8	C-F
59-12	6,1	A-C	66-73	1,8	C-F
58-79-D2-B1	5,5	A-D	66-27	1,8	C-F
59-21	5,1	A-E	58-19	1,7	C-F
58-79 T	4,6	A-F	58-161	1,7	C-F
66-1	4,3	A-F	58-43	1,6	C-F
66-67	4,1	A-F	66-61	1,6	C-F
66-57	3,8	A-F	58-95-D2	1,5	D-F
59-20 B	3,7	A-F	58-162	1,5	D-F
66-3	3,7	A-F	58-47	1,5	D-F
58-16 T	3,6	A-F	58-74	1,3	D-F
66-41	3,5	A-F	66-2	1,3	D-F
66-38	3,5	A-F	58-39	1,3	D-F
66-66	3,5	A-F	58-29	1,2	D-F
66-21	3,5	A-F	66-50	1,2	D-F
58-81	3,5	A-F	58-32	1,2	D-F
58-52	3,1	A-F	66-64	1,2	D-F
66-69	2,9	B-F	59-24 T	1,1	D-F
66-72	2,9	B-F	66-65	1,1	D-F
66-14	2,9	B-F	66-76	1,1	D-F
58-4	2,7	B-F	58-77	1,0	D-F
58-3	2,7	B-F	66-47	0,9	EF
66-36	2,6	C-F	66-77	0,8	EF
59-30	2,6	C-F	58-151	0,8	EF
58-20	2,5	C-F	59-25	0,7	EF
58-154	2,4	C-F	58-58	0,7	EF
66-42	2,4	C-F	58-41	0,6	EF
58-74-D1-C2	2,4	C-F	58-28	0,6	EF
66-48	2,4	C-F	58-80	0,6	EF
59-13	2,3	C-F	58-95-D2-B2	0,6	EF
58-79-D2-A1	2,3	C-F	66-49	0,5	F
58-30	2,1	C-F	58-16-D1	0,5	F
58-74-D1-B1	2,1	C-F	58-79-D2-A2	0,5	F
66-22	2,0	C-F	58-191	0,5	F
58-74-D1-C1	2,0	C-F	66-70	43	F
58-44	1,9	C-F	59-26	0,2	F
66-57	1,9	C-F	58-2	0,2	F
58-51	1,9	C-F	66-5	0,2	F

Dans une même colonne les moyennes suivies par la lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (Test de DUNCAN)

Tableau 17 - Oviposition des femelles de *Callosobruchus maculatus* sur les graines de 80 variétés sénégalaises de niébé

variétés	Nbre d'adultes F ₁	Variétés	Nbre d'adultes F ₁
58-57	54,0 A	58-154	9,4 C-G
58-95-D3	35,0 B	66-2	9,2 C-G
66-67	32,0 B C	58-5 1	9,2 C-G
58-79-T	30,4 B D	58-39	9,2 C-G
66-1	26,0 B-E	58-44	9,2 C-G
66-40	25,8 B-E	58-74-D1-B1	9,0 C-G
66-66	25,0 B-F	66-22	9,0 C-G
58-79-D2-B1	24,0 B-G	58-16-T	8,8 C-G
66-53	23,2 B-G	59-20-B	8,8 C-G
66-14	22,0 B-G	58-95-D2	8,6 C-G
66-41	21,1 B-G	66-76	8,4 C-G
66-36	21,2 B-G	59-21	8,4 C-G
66-69	19,0 B-G	58-32	8,0 C-G
63-6	18,8 B-G	59-13	7,8 C-G
66-61	16,2 B-G	59-30	7,2 C-G
66-42	16,2 B-G	58-3	7,0 C-G
66-38	15,6 B-G	58-79-D2-A1	6,8 C-G
58-30	15,6 B-G	66-47	8,8 C-G
66-21	15,4 B-G	59-12	6,4 C-G
66-57	15,4 B-G	58-95-D2-B2	6,2 E-G
66-48	15,2 B-G	58-77	6,2 E-G
66-72	15,2 B-G	58-151	6,2 E-G
58-161	14,6 B-G	66-64	5,6 E-G
58-19	14,4 B-G	58-58	5,0 E-G
58-81	14,2 B-G	58-80	4,8 E-G
58-12	14,0 B-G	66-77	4,2 E-G
58-74-D1-C1	14,0 B-G	58-191	3,8 E-G
58-74-D1-C2	13,8 B-G	59-25	3,6 E-G
58-146	13,4 B-G	58-41	3,6 E-G
58-20	11,8 B-G	66-27	3,2 E-G
58-52	11,6 B-G	66-49	3,0 E-G
66-65	11,0 C-G	66-50	2,0 E-G
59-24-T	10,8 C-G	58-28	2,0 E-G
58-47	10,8 C-G	58-162	1,8 E-G
58-4	10,6 C-G	58-79-D2-A2	1,2 F G
58-29	10,4 C-G	58-2	1,0 F G
58-43	10,4 C-G	58-16-D1	1,0 F G
58-74	10,2 C-G	66-70	1,0 F G
58-24	10,0 C-G	66-5	0,6 G
66-73	9,8 C-G	59-26	0,0 G

Dans une même colonne les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (Test de DUNCAN)

Tableau 18 • Nombre d'adultes F₁ de *Callosobruchus maculatus* émergés des graines de 80 variétés de niébé originaires du Sénégal

variétés	Nombre de bruches émergées (jours après infestation)												Nbre total d'émergences
	25	26	27	28	33	34	35	36	37	40	41	42	
58-16 DI (R)	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	5 217
58-57 (S)	17	18	25	28	44	9	5	32	6	21	2	10	

Tableau 19 - Rythme des émergences de *Callosobruchus maculatus* sur des variétés résistante (R) et sensible (S) de niébé

Plusieurs travaux ont tenté d'expliquer la résistance du niébé à *C. maculatus*. Les mécanismes identifiés sont de nature biochimique ou physique.

La résistance biochimique a souvent été associée à la présence de métabolites secondaires dans les graines. Les premières molécules identifiées dans ce type de mécanisme sont les inhibiteurs de trypsines (GATEHOUSE *et al.*, 1979 ; GATEHOUSE & BOULTER, 1983). Leur teneur dans la variété résistante TVu 2027 est de deux à trois fois plus élevée que dans une variété normale (DOBIE, 1981). Ils entraînent une importante mortalité des larves de *C. maculatus* qui ne peuvent en détoxifier qu'une faible quantité.

Plus tard, XAVIER-FILHO *et al.* (1989) contredisent cette théorie en isolant de deux variétés sensibles à *C. maculatus* (CE-11 et CE-24) des teneurs en inhibiteurs de trypsine équivalentes à celle de la variété résistante Tvu 2027. Les inhibiteurs d'a-amylases constituent la deuxième série de molécules identifiées pour expliquer la résistance biochimique du niébé à *C. maculatus* (PIERGIOVANNI, 1991). Même si leur rôle n'est pas encore clairement élucidé, certains auteurs pensent qu'ils perturbent le métabolisme de l'amidon, suite au blocage des α -amylases intestinales de l'insecte (GATEHOUSE *et al.*, 1986 ; SHEKIB *et al.*, 1988).

La résistance physique serait liée d'une part, à la dureté de la gousse (AKINGBOHUNDGE, 1976 ; CASWELL, 1984) et d'autre part, à l'aspect rugueux ou lisse de la graine de niébé. Dans ce dernier cas, elle induit une préférence de ponte des femelles sur les graines lisses (NWANZE *et al.*, 1975 ; NWANZE & HORBER, 1976).

Notre évaluation des variétés sénégalaises indique que six d'entre elles : 59-12 ; 58-28 ; 66-50 ; 66-5 ; 58-16-D1 et 59-26 présentent une résistance considérable à *C. maculatus*. Elle démontre aussi une grande sensibilité de la variété la plus cultivée dans les régions Nord et Centre-Nord du Sénégal. Ce

dernier **résultat** suggère l'amélioration de la **résistance** à la bruche du niébé de la **variété** 58-57.

Toutefois, l'**étude préalable** des facteurs de **résistance** des six **variétés** identifiées est indispensable .

4. Le stockage en fûts métalliques hermétiques

4.1. Objectif

Le **niébé** constitue une source de revenu **monétaire** pour les paysans ; sa valeur commerciale **étant** fonction du niveau d'infestation des graines et de la **période de l'année**. Une **étude socio-économique récente** menée au **Sénégal** montre que le prix des graines augmente de 178 F CFA en octobre, à 331 F au mois d'août (TALL, 1991). Elle rapporte aussi que les paysans **préfèrent en général** les méthodes alternatives à la protection chimique du **niébé** jugée "trop dangereuse".

L'analyse de travaux sur le contrôle des insectes des denrées par le stockage en milieu **hermétique**, montre que très peu d'entre eux portent sur des études de terrain (O'DOWD, 1971; PATTINSON, 1969). Aucun ne **considère simultanément** les facteurs temps, **variété** et **localité**.

Le **présent** travail rapporte le résultat d'une **expérimentation** multilocale sur le stockage de six **variétés** de **niébé** dans des fûts métalliques **hermétiques** au **Sénégal**.

4.2. Matériel et méthodes

Les essais ont **été menés** au Nord et au 'Centre du **Sénégal**. Au Nord, six villages et quatre **variétés** ont **été** choisis. Au centre, quatre villages et quatre **variétés** ont **été considérés**. Les fûts utilisés sont en tôle galvanisée et d'une capacité de 60 litres. Ils sont localement fabriqués par la société F.U.M.O.A. (fûts **métalliques** de l'Ouest Africain).

A la récolte du **niébé**, les gousses sont **séchées** au champ puis battues. Les graines sont ensuite versées par variété dans les fûts jusqu'à leur remplissage. Les fûts sont ensuite fermes avec leur bouchon métallique garni d'un joint **d'étanchéité**, puis placés dans des magasins de stockage villageois. L'**herméticité** est maintenue pendant deux mois au bout desquels, un premier contrôle est effectué sur un échantillon de 250 g de **niébé prélevé** de chaque fût. L'**échantillonnage** est **réalisé** à l'aide d'une sonde à fenêtre permettant de **prélever** des graines à différents niveaux. Le comptage des graines saines et **trouées** permet alors de calculer le pourcentage de dégâts de *C. mâculatus*.

Les fûts sont ensuite refermés et des contrôles sont effectués de la même **manière** tous les deux mois, pendant six mois.

A la fin du stockage, un test de germination est **mené** en plein champ pour évaluer la **qualité semencière** des graines.

4.3. Résultats et discussion

L'observation des dégâts au cours du temps montre que le pourcentage de graines attaquées (PA) après 2 mois de stockage est $\leq 10\%$ dans 84 % des cas dans la zone Nord et dans 80 % des cas dans la zone centrale (tableau 20).

Après 4 mois, **85 %** des fûts ont un PA $\leq 10\%$ dans la zone Nord comme dans le centre du Sénégal (tableau 21).

Après 6 mois, le PA est $\leq 10\%$ pour 57 % des fûts dans la zone Nord contre 50 % des fûts dans la zone centrale (tableau 22).

L'observation des données du tableau 23 montre que le taux de germination après 10 jours est de 70 à 80 % .

Ces **résultats** montrent donc une excellente conservation des graines après 4 à 6 mois de stockage et traduisent une grande efficacité du stockage du **niébé** en fûts métalliques dans les conditions **étudiées**. En effet, sur **base** du taux d'attaque maximum de 5 % qui est **fixé** pour le commerce international du **niébé**, il **apparaît** que 50 à 63 % des graines seraient acceptables pour l'exportation après 4 mois de stockage contre 25 à 36 % après 6 mois. Et, sur base de la norme de 17 % de graines attaquées admises pour le marché **sénégalais** du **niébé** (HALL, communication personnelle), **près** de 95% du **niébé** seraient acceptables pour le marché local après 4 mois et 62 à 69% le seraient après 6 mois de stockage.

L'examen du profil des **dégâts** de *C. maculatus* en fonction des **variétés**, montre que Bambey 21 et CBE5 (plus précoces) **s'avèrent** aussi plus **attaquées** que les variétés N'Diambour, Mougne et 58-57 (plus tardives). Cette plus grande infestation des **variétés précoces** s'explique surtout par une infestation initiale plus importante de leurs gousses récoltées les **premières**. PREVETT (1961) et HUIGNARD (1985) ont en effet montré l'importance de l'infestation initiale du **niébé** et son incidence sur les dégâts **ultérieurs** de *C. maculatus*.

4.4. Conclusion

Le stockage en fûts **métalliques** hermétiques est donc une **méthode** simple et efficace de conservation des graines de **niébé** en milieu rural **sénégalais**. Il peut être recommandé dans les PVD à **écologie** comparable, comme alternative au traitement chimique. Toutefois, sa diffusion et sa viabilité passent par la levée de trois contraintes, à savoir : son coût, le contrôle de l'**infestation** initiale de ***C. maculatus*** et l'**établissement** rapide d'une atmosphère létale permettant le contrôle des **dégâts** de l'insecte.

<u>Zone Nord</u>	<u>VARIETES</u>							
	58-57		N'DIAMBOUR		BAMBEY 21		CBES	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Villages								
Keur Boumi	1,7		1,5		3,5		2,8	
Ndatt Fall	1,1	2,7	2,5	1,8	1,1	1,9	3,3	3,1
Sagatta	2,3	3,5	2,6	5,7	1,9	29,7	4,1	24,9
Sine Dieng		3,1		6,1		3,4		5,8
Coki		7,7		6,1		13,9		30,5
Sakal		4,0		2,5		3,7		27,2

<u>Zone Centrale</u>	<u>VARIETES</u>							
	58-57		MOUGNE		BAMBEY 21		TVX 3236	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Villages								
Gatt Ngarafé	1,2	32,4	1,8	1,9	11,9	3,1	1,0	3,7
Thilmakha	5,6		4,9		12,7		4,9	
Keur Galo	5,8	2,2	3,6	2,7	15,2	5,3	1,9	2,8

Tableau 20 - Pourcentage de graines de niébé attaquées par *Callosobruchus maculatus* après 2 mois de stockage dans des fûts métalliques

Zone Nord	<u>VARIETES</u>							
	58-57		NDIAMBOUR		BAMBEY 21		CBE5	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Villages								
Keur Boumi	2,0		3,6		7,9		4,2	
Ndatt Fall	1,4	2,7	2,1	2,2	9,2	1,7	3,9	7,3
Sagatta	3,5	4,9	3,0	3,4	2,8	34,7	3,9	4,5
Sine Dieng		2,8		5,2		7,4		11,9
Coki		7,5	4,1			12,9		17,4
Sakal		4,4		3,4		9s		13,8

Zone Centrale	<u>VARIETES</u>							
	58-57		MOUGNE		BAMBEY 21		TVX 3236	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Villages								
Gatt Ngarafe	1,9	2,4	1,9	1,8	5,1	4,5	1,7	1,7
Thilmakha	5,9		12,7		13,3		6,1	
Keur Galo	5,2	7,0	4,9	5,1	17,8	8,0	2,6	3,4

Tableau 21 - Pourcentage de graines de niébé attaquées par *Callosobruchus maculatus* après 4 mois de stockage dans des fûts métalliques

Zone Nord	<u>VARIETES</u>											
	58-57			NDIAMBOUR			BAMBEY 21			CBES		
	1987	1988	1989	1987	1988	1989	1987	1988	1989	1987	1988	1989
	(1)			(1)			(1)			(1)		
Villages												
Keur Boumi	5,3	4,2		2,7	6,1		1,7	12,1		7,4	4,7	
Ndatt Fall	20,1	5,0	47,6	7,0	3,0	28,7	14,9	1,4	23,0		11,4	65,1
Sagatta			4,1	3,1	3,2	28,9		3,3	30,1		7,8	46,5
Sine Dieng			7 s			3,9			11,2			13,6
Coki			8,1			7,9			28,9			29,8
Sakal			3,8			4,5			43,4			27,7

Zone Centrale	<u>VARIETES</u>											
	58-57			MOUGNE			BAMBEY 21			TVX 3236		
	1987	1988	1989	1987	1988	1989	1987	1988	1989	1987	1988	1989
	(1)			(1)			(1)			(1)		
Villages												
GattNgarafe	5,8	4,1	33,5	8,2	2,2	39,3	5,6	9,6	57,6	2,9	2,5	27,6
Sam-Thiallé	5,1			4,6			8,1			1,7		
Thilmakha	31,9	13,3		18,8	7,7		16,9	12,7		23,0	16,2	
Keur Galo		3,6	28,7		5,7	55,1		17,1	36,4	2,6	28,2	

(1) après 5 mois

Tableau 22 . Pourcentage de graines de niébé attaquées par *Callosobruchus maculatus* après 6 mois de stockage dans des fûts métalliques

Villages	<u>VARIETES</u>					
	MOUGNE	TVX 3236	BAMBEY 21	58-57	NDIAMBOUR	CBE5
Zone Nord						
Ndatt Fall			79	86	51	64
Keur Boumi			77	83	67	71
Sagatta			72	80	82	16
Zone Centrale						
Keur Galo	88	57	87	74		
Gatt Ngarafe	92	40	57	68		
Sam Thiallé	51	77	80	64		

Tableau 23 - *Taux de levée de différentes variétés de niébé après 8 mois de stockage dans des fûts métalliques

Le **problème** du coût pourrait être résolu grâce à un **système de crédit** inspiré du programme FAO lancé en Tanzanie pour le stockage du maïs à la ferme, par l'intermédiaire d'un système **coopératif** (PATTINSON, 1969).

En ce qui concerne le contrôle de l'infestation initiale de *C. maculatus*, il passe par l'information des agriculteurs sur des techniques culturales appropriées comme la récolte rapide, le séchage, le battage et le stockage **immédiat** du **niébé**.

Quant à la **durée** nécessaire pour l'**établissement** de l'**atmosphère létale** dans le milieu auto-confiné, elle pourrait être avantageusement réduite en combinant le stockage en fûts avec, par exemple, l'utilisation de substances biocides d'origine **végétale** dont l'**activité** biologique sur l'insecte est démontrée. Nous **évaluerons** les **potentialités d'*Azadirachta indica* (A.) Juss.** dans le chapitre qui suit.

5. Utilisation de *Azadirachta indica* (A.)Juss.

5.1. Objectif

L'intérêt du neem pour lutter contre les ravageurs des cultures dans les pays en voie de développement a été largement discuté par SCHMUTTERER (1987). Plusieurs travaux ayant mis en évidence d'importantes fluctuations de la composition chimique et des **propriétés** insecticides de *A. indica* en fonction de son origine agroclimatique (ERMEL *et al.*, 1987 ; SINGH, 1987), il nous a paru utile d'évaluer l'**activité** biologique de neem du **Sénégal**, dans le but de comparer les **résultats** obtenus avec ceux de plantes **indigènes sénégalaises** moins connues. Au **préalable**, nous rappelons quelques **propriétés de *Azadirachta indica***.

5.2. Généralités sur *Azadirachta indica*

5.2.1. Origine et distribution

Azadirachta indica A. JUSS., communément appelé neem, appartient à la famille des Meliaceae. Il est originaire du sous-continent indien où ses propriétés médicinales et insecticides sont connues depuis des millénaires (SCHMUTTERER, 1981 ; AHMED & GRAINGE, 1985). Au **début** du **XX^e siècle**, l'arbre est introduit dans plusieurs pays en voie de développement et **particulièrement** en Afrique tropicale, en raison de sa rusticité.

C'est ainsi qu'il est massivement planté au **Sénégal** pour fixer le bord des routes et comme source de bois de chauffage, mais surtout comme essence de reboisement des zones arides (BERTHEAU *et al.*, 1980). En effet, le neem est **caractérisé** par une grande **résistance** à la sécheresse et une croissance extrêmement rapide.

5.2.2. Productivité

La fructification **début**e à l'âge de 4-5 ans et atteint le maximum de production vers 10 ans. Les arbres adultes peuvent fournir de 30 à 50 Kg de fruits par an (AHMED & GRAINGE, 1986).

5.2.3. Efficacité sur les insectes

Dès 1927, l'effet **anti-appétant** des feuilles de neem sur les **locustes** est observé (JOTWANI & SRIVASTAVA, 1981). L'application d'une suspension de fruits de neem sur des cultures de **céréales**, à raison de 300 à 600 l/ha, **protège** celles-ci contre le même ravageur (JOTWANI, 1983). GRAINGE et al. (1985) rapportent l'**efficacité** biologique du neem sur plus d'une centaine de ravageurs des cultures.

A. indica est également efficace contre plusieurs insectes des **denrées** entreposées (JOTWANI & SIRCAR, 1965, 1967 ; PEREIRA & WOHLGEMUTH, 1982 ; IVBIJARO, 1983 ; GANESALINGHAM, 1987 ; DANIEL & SMITH, 1990). En Inde et au Pakistan, le mélange de 2 à 5 Kg de feuilles **sèches** de neem **broyées** dans 100 Kg de **denrées** (AHMED & KOPEL, 1985) ou le trempage de sacs dans une solution de 2 à 10 Kg de feuilles de neem par 100 litres d'eau (AHMED, 1984) **s'avéraient** efficaces contre les insectes des **récoltes**.

5.2.4. Toxicologie

La **littérature** ne signale aucune toxicité de *A. indica* sur les hommes et les animaux domestiques (SCHMUTTERER, 1981). Au contraire, rapporte-t-elle un effet **bénéfique** de constituants du neem sur plusieurs animaux. En effet, des rations à base de tourteaux de neem ont permis d'accroître la croissance **pondérale** de moutons (VIJAN et al., 1982) et de rats (QADRI et al., 1984). L'injection intra-veineuse **d'extraits** aqueux de neem réduit la pression sanguine et augmente le taux respiratoire chez le chien (ARIGABU & DON PEDRO, 1971).

5.2.3. Chimie

Plusieurs **études** menées sur la composition chimique du neem (KRAUS et al., 1985 ; BROWTON et al., 1987 ; REMBOLD et al., 1987) ont conduit à l'isolement de trois principaux constituants appartenant tous à la famille des **triterpénoïdes** : la salanine, le mélantriol et l'azadirachtine. Ce dernier (**figure 4D**) **s'avère** être le principal responsable de l'activité biologique du neem sur les insectes et donc le plus **étudié** de ces 20 **dernières** années (SCHMUTTERER, 1981).

L'azadirachtine est distribuée dans toutes les parties de la plante mais les graines en sont la principale source (MORGAN, 1982). La teneur en azadirachtine des graines de *A. indica* varie de 0,1 à 4,8 % (P/P), en fonction de l'origine géographique des échantillons (BUTTENWORTH et al., 1972 ; ZANNO et al.,

1975 ; MORGAN, 1982 ; ERMEL *et al.*, 1987). Elle est également affectée par les conditions de conservation des graines, notamment les température et humidité relative élevées, ainsi que les radiations solaires et U-V qui entraînent une baisse considérable des teneurs initiales (ERMEL *et al.*, 1987).

5.3. Matériel et méthodes

Trois essais ont été réalisés d'une part sur des poudres sèches de feuilles et de graines (ESSAI 1) et d'autre part, sur des extraits aqueux de broyats de graines ainsi que de feuilles fraîches et sèches de *A. indica* (ESSAIS 2 et 3). Dans tous les essais, la variété de niébé utilisée est la "58-57".

Essai 1 • Trois répétitions de 100 g de graines de niébé contenues dans des bocaux en verre de volume un litre sont mélangées avec des poudres de graines ou de feuilles de neem aux concentrations de 1 ; 2 et 3 % (P/P). Les graines de niébé sont ensuite infestées avec 20 adultes de *C. maculatus* âgés de 1 jour et les bocaux placés dans les conditions de température 32 ± 3 °C et 45 ± 5 % d'humidité relative. Le nombre d'insectes morts est observé tant dans les grains traités que dans ceux non traités et le pourcentage de mortalité est calculé en appliquant la formule d'ABBOTT (1925).

Essai 2 • Des graines et des feuilles vertes d'une part, sèches d'autre part, ont été broyées pour préparer quatre types d'extraits : des extraits à base de graines vertes (NGV), de graines sèches (NGS) de feuilles vertes (NFV) et de feuilles sèches (NFS). Les extraits sont obtenus en laissant tremper des poids connus de broyat de neem dans de l'eau pendant 24 heures, puis en recueillant le filtrat après passage au travers d'un tamis à mailles de 250 µ. Quatre concentrations ont été testées : 25 ; 35 ; 50 et 60 g par litre. Dans chaque extrait ainsi que dans un témoin constitué d'eau, quatre répétitions de 40 graines de niébé par traitement sont trempées puis retirées immédiatement et déposées sur des papiers filtres. Deux heures plus tard, les graines sont placées dans des boîtes de Petri (Ø=90 mm) et infestées avec 4 adultes (1 mâle + 3 femelles) de *C. maculatus* âgés de 1 jour. Les boîtes sont ensuite placées dans des étuves maintenues à 33 °C de température et 67 % d'humidité relative. Six jours après l'infestation, le nombre d'oeufs pondus sur les graines et la fécondité totale des femelles sont comptés dans chaque boîte. La fécondité totale est évaluée en tenant compte des oeufs déposés tant sur les graines que sur les parois des boîtes. Au début de l'émergence des adultes FI, le nombre de sorties journalières est noté jusqu'à l'arrêt de celles-ci. Sur la base des données obtenues sur la ponte, la progéniture et les dégâts des insectes, le pourcentage de graines attaquées et le taux de réussite du développement (TR) de *C. maculatus* sont calculés en appliquant la formule :

$$TR = (nF_1/nWg) \times 100$$

où nF_1 est le nombre total d'émergence et nWg , le nombre d'oeufs pondus sur les graines.

Essai 3 • 5 répétitions de 5 couples âgés de moins de 24 h, issus de la F_1 de l'essai 2, sont placées dans des boîtes de 8 cm³ contenant chacune 5 graines de niébé. Les conditions expérimentales sont les mêmes que celles de l'essai 2 précédemment définies. Chaque jour, jusqu'à la mort des femelles, le nombre d'oeufs pondus est compte pour chaque traitement.

5.4. Résultats et discussion

Essai 1 • L'évolution de l'effet insecticide des poudres de neem sur *C. maculatus* montre une toxicité croissante en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Après 2 jours, le pourcentage de mortalité passe de 5 à 48 % pour les feuilles et 33 à 50 % pour les graines. L'observation des résultats après 3 jours montre que le pourcentage de mortalité est de 47 à 85 % pour les feuilles et 85 à 90 % pour les graines (tableau 24).

Traitements	Concentration (% P/P)	Durée d'exposition (en jours)	
		2	3
Feuilles	1	5 b	47 b
	2	38 a	73 a
	3	48 a	85 a
Fruits	1	33 b	85 a
	2	42 ab	85 a
	3	50 a	90 a

Tableau 24 • Toxicité des feuilles et des fruits de *Azadirachta indica* sur les adultes de *Callosobruchus maculatus*

Essai 2 • La fécondité moyenne de la population parentale de *C. maculatus* et le nombre moyen d'oeufs pondus par graine de niébé sont repris dans le tableau 25.

De la plus faible à la plus forte concentration, le nombre d'oeufs par graine, pour les différents traitements est de 0,7 à 1,1 pour les graines sèches ; 1,5 à 2,6 pour les graines vertes ; 0,5 à 1,3 pour les feuilles sèches ; 0,7 à 1,9 pour les feuilles vertes et 1,4 pour le témoin traité à l'eau.

La fécondité moyenne des femelles de *C. maculatus*, aux différents traitements est de 11,4 à 19,5 ; 24,5 à 38,3 ; 6,5 à 24,3 ; 10,7 à 32,3 et 23,4 oeufs/femelle

respectivement. L'analyse statistique des résultats montre que seul le traitement avec les graines **séchées** permet une réduction significative de la ponte de *C. maculatus*.

L'observation des données sur le taux de **réussite** (TR) et le pourcentage de **graines attaquées** (PA) (tableau 26) met en évidence une **différence** significative entre les traitements et montre que seul le traitement avec les graines **sèches** permet de réduire le taux de **réussite** et de limiter significativement les **dégâts** de *C. maculatus*. A la concentration de 60 g/l, le taux de **réussite** du développement de *C. maculatus* est de **8,4 %** dans le **niébé traité** avec l'extrait de graines **sèches**, tandis qu'il varie de **44,2 à 87,2 %** pour les autres traitements. Dans les mêmes conditions, le PA est de 9 % pour l'extrait de graines **sèches**, alors qu'il se situe entre 45 et **79,5 %** pour les **autres** traitements.

Traitements (*)	Nombre moyen d'oeufs par graine (**)			
	Concentration (en g de neem par litre d'eau)			
	25	35	50	60
NGS	1,1ab	0,8a	0,7b	0,8b
NGV	1,9a	1,5a	2,5a	2,6a
NFS	1,3ab	0,5a	1,0a	1,3b
NFV	0,7b	1,5a	1,9ab	1,1b
Témoin	1,4ab	1,4a	1,4ab	1,4ab
	Nombre moyen d'oeufs par femelle (**)			
	Concentration (en g de neem par litre d'eau)			
	25	35	50	60
NGS	19,5ab	17,0a	11,4b	11,5b
NGV	25,9a	24,5a	38,2a	38,3a
NFS	18,3ab	6,5b	22,6ab	24,3ab
NFV	10,7b	20,7a	32,3ab	19,3ab
Témoin	23,4ab	23,4a	23,4ab	23,4ab

(*) NGS=graines sèches ; NGV=graines vertes ; NFS=feuilles sèches ; NFV=feuilles vertes

(**) Dans une même colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (Test de DIJNCAN ; données analysées après transformation "racine carrée").

Tableau 25 • Effet d'extraits aqueux de *Azadirachta indica* sur l'oviposition des femelles de *Callosobruchus maculatus*

Traitements (*)	Taux de réussite du développement (**)(***)			
	Concentration (en g de neem par Litre d'eau)			
	25	35	50	60
NGS	44,3a	25,5bc	34,4a	8,4c
NGV	44,7a	33,9abc	68,4a	59,7ab
NFS	51,8a	8,9c	70,1a	87,2a
NFV	28,9a	85,9a	60,8a	44,4a
Témoin	62,8a	82,8ab	62,8a	82,8ab
	Pourcentage de graines attaquées (**)(***)			
	Concentration (en g de neem par litre d'eau)			
	25	35	50	60
NGS	44,0a	19,0b	21,5b	9,0b
NGV	77,5a	70,5ab	98,0a	79,5a
NFS	88,0a	20,0b	72,0a	76,5a
NFV	38,0a	80,0a	80,0a	45,0ab
Témoin	68,9a	68,9ab	88,9ab	88,9a

(*) NGS=graines sèches ; NGV=graines vertes ; NFS=feuilles sèches ; NFV=feuilles vertes

(**) Nombre d'adultes émergés/Nombre d'oeufs pondus sur les graines) x 100

(***) Dans une même colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (Test de DUNCAN)

Tableau 26 . Effet d'extraits aqueux de *Azadirachta indica* sur le taux de réussite (TR) et les dégâts de *Callosobruchus maculatus*

L'observation de l'effet des extraits aqueux de *A. indica* sur l'importance de la progéniture de *C. maculatus* (figure 8), montre une forte réduction de la FI par l'extraits de graines sèches, à partir de la concentration de 35 g/l.

Essai 3 - L'analyse des **résultats** obtenus **montre** que seul l'extrait de graines sèches entraîne une réduction significative de la **fécondité** des femelles FI. La ponte par femelle est de 59 oeufs à la concentration de 25 g/l et 38,8 oeufs à 60 g/l contre 93 oeufs par femelle pour le témoin. Quant à la longévité des adultes, elle est de 5,8 à 9,6 jours et ne **diffère** pas de **manière** significative entre les traitements (tableau 27).

Les **résultats** de nos diverses **expériences** montrent que les extraits de neem testes possèdent non seulement des **propriétés** insecticides mais aussi un effet réducteur sur l'oviposition, le taux de réussite du développement et les **dégâts** de *C. maculatus*. Des effets similaires ont **été** observés sur des **écotypes** de *A. indica* provenant d'autres régions du monde (JOTWANI & SIRCAR, 1967 ; IVBIJARO, 1983 ; TANZUBIL, 1987).

L'extrait aqueux de fruits **séchés s'avère** beaucoup plus efficace sur la **bruche** du **niébé** que les extraits à base des fruits verts ou des feuilles de Neem. Cette **différence d'activité** pourrait être en relation avec une teneur en principe actif, **supérieure** dans les fruits séchés en pleine maturité (SCHMUTTERER, 1981 ; SINGH, 1987).

Au **Sénégal**, les **écotypes** de *A. indica* que nous avons testes fructifient deux fois par an. La première production est obtenue en avril et la seconde plus importante en septembre. Ceci pourrait permettre d'assurer un approvisionnement régulier en fruits et ainsi, **d'éviter** une baisse considérable de l'**activité** biologique du matériel **végétal** (suite à un stockage prolongé) comme l'ont **déjà** observé ATTRI & SINGH, cité par WEBB *et al.* 1983.

Traitements (*)	Nombre d'oeufs par femelle (**)			
	Concentration (en g de neem par litre d'eau)			
	25	35	50	60
NGS	59,0a	0,0b	38,4b	38,8b
NGV	73,4a	60,4a	34,4b	71,2ab
NFS	54,4a	50,6a	54,0ab	53,6ab
NFV	66,0a	67,2a	83,8a	33,2b
Témoin	93,0a	93,0a	93,0a	93,0a
	Durée de vie des adultes en jours (**)			
	Concentration (en g de neem par litre d'eau)			
	25	35	50	60
NGS	7,6a	7,8a	8,4a	5,8a
NGV	7,2a	9,6a	5,8a	7,4a
NFS	7,2a	8,8a	7,8a	7,4a
NFV	7,2a	7,2a	8,2a	7,2a
Témoin	7,8a	7,8a	7,8a	7,8a

(*) NGS=graines sèches ; NGV=graines vertes ; NFS=feuilles sèches ; NFV=feuilles vertes

(**) Dans une même colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (Test de DUNCAN ; données analysées après transformation "racine carrée")

Tableau 27 . Effet de plusieurs extraits aqueux de *Azadirachta indica* sur la longévité et la fécondité de la progéniture de *Callosobruchus maculatus*

CHAPITRE III

Recherches sur les plantes sénégalaises à effet insecticide

1. Introduction

Pendant longtemps, la lutte contre les ravageurs des cultures et des récoltes dans les pays en voie de développement a reposé sur l'utilisation abusive de pesticides **synthétiques** importés. C'est le cas encore aujourd'hui, même si l'on commence à prendre conscience des **conséquences néfastes** d'une lutte chimique non **raisonnée** sur la **santé** humaine et animale, ainsi que sur l'environnement (BOUGUERRA, 1990 ; GEORGHIOU, 1990 ; EGWUATU, 1987).

Il est donc indispensable de s'orienter vers des solutions alternatives **basées** sur l'exploitation des ressources naturelles, particulièrement des plantes locales à **propriétés** insecticides.

Au cours des dix **dernières** années, les **résultats** obtenus sur *A. indica* font de cet arbre un **modèle** presque **idéal** d'utilisation de plantes ou de leurs dérivés pour contrôler les ravageurs (SCHMUTTERER, 1987). Depuis, de nombreux laboratoires, des pays industrialisés comme des pays en voie de développement, s'orientent vers la recherche sur les plantes insecticides.

Nos premières enquêtes sur les plantes insecticides sénégalaises ont débuté en 1983, dans le cadre du projet CILSS-USAID-FAO de Lutte **Intégrée** contre les ennemis des principales cultures **vivrières** dans le Sahel. Elles ont **été** poursuivies et ont fait l'objet de recherches entre 1987 et 1990 dans le cadre du programme stockage de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (I.S.R.A.) Ces travaux montrent qu'au **Sénégal**, en Gambie et en **Guinée-Bissau**, l'utilisation de plantes contre les ravageurs occupe une place importante en milieu rural et s'accordent avec une enquête **socio-économique** menée dans cinq autres pays de la sous-**région** sahélienne (CILSS, 1984).

Le **présent** travail **mené** depuis 1990 à l'UER de Zoologie **générale** et appliquée a pour objet, grâce à une collaboration avec l'UER de Chimie générale et organique, de vérifier et (éventuellement) d'expliquer les bases biologiques et chimiques de l'**efficacité** de plantes potentiellement actives.

2. Choix de la méthode de prospection

DELAUDE (1993) distingue trois méthodes de prospection de **matériel végétal** destiné à la recherche de substances naturelles. Celles-ci peuvent, en fonction des objectifs, être utilisées **séparément** ou simultanément. On distingue ainsi la

prospection **systematique**, la prospection **basée** sur des **données** chimiotaonomiques et celle **basée** sur des enquêtes.

La prospection systematique est la **recolte** du plus d'espèces possible d'une région, à partir d'un inventaire floristique dresse par des botanistes. Les principes actifs des plantes ainsi obtenues sont ensuite analyses.

La prospection basée sur des données chimiotaonomiques repose sur l'exploration de familles ou de genres voisins de ceux d'une **espèce possédant** des principes actifs intéressants.

La prospection basée sur des enquêtes est **guidée** par les connaissances empiriques de la flore **indigène** par les populations locales. Cette dernière **méthode** a **été** choisie dans le cadre de notre Ctude et a permis **de** dresser la liste du **tableau 28**.

Espèces	Code	Famille	Type (1)	Partie (2)
<i>Boscia senegalensis</i> (PERS.) LAM.	BoSe	Capparaceae	L	Fe/Gr
Cassia <i>occidentalis</i> L.	CaOc	Caesdpiniaceae	H	Fe
Cassia <i>sieberiana</i> DC.	CaSi	Caesalpinaceae	L	Fe
<i>Cissus populnea</i> G. et PERR.	CiPo	Ampélidaceae	H	Fe
<i>Indigofera tinctoria</i> L.	InTi	Papilionaceae	H	Fe
<i>Khaya senegalensis</i> (DESR.) A. JUSS.	KhSe	Meliaceae	L	Fe/Ec
<i>Ocimum basilicum</i> L.	OcBa	Lamiaceae	H	Fe
<i>Prosopis africana</i> (G. et PERR.) TAUB.	PrAf	Mimosaceae	L	Fe
<i>Securidaca longepedunculata</i> FRES.	SeLo	Polygalaceae	L	Fe

1) L= ligneux; H= herbacé ; (2) Fe= fèves; Gr= graines Ec= écorces

Tableau 28 - Matériel végétal étudié

3. Essai préliminaire de criblage

3.1. Objectif

L'objet de ce screening est **d'évaluer**, en conditions contrôlées, l'activité biologique des plantes recensées en vue de sélectionner les plus prometteuses pour des études plus approfondies.

3.2. Matériel et méthodes

Deux essais ont **été** conduits dans des conditions expérimentales identiques ($T = 32 \pm 2^\circ\text{C}$; $\text{HR} = 80 \pm 10\%$) **répétées** cinq fois dans le temps. Le **matériel végétal** étudié est repris dans le tableau 28. Les plantes testées dans l'essai 1 ont été **récoltées** entre mai et juillet 1990, dans la **région** de Kaolack (Senégal). En ce qui concerne la plante **étudiée** dans l'essai 2, nous avons testé aussi bien du matériel **végétal** frais que du **matériel séché étant** donné l'utilisation du **végétal** sous ces deux aspects. Des feuilles sèches et des feuilles fraîches ont **été récoltées** respectivement au début et **à la fin** du mois de novembre 1990 dans la **région** de Thiès (Senégal).

Essai 1 - Les plantes ont **été** séchées **à l'ombre** puis **broyées à l'aide** d'un moulin électrique de laboratoire et **passées** au travers d'un tamis **à mailles** de $250 \mu\text{m}$. Les poudres obtenues sont ensuite mélangées, pour chaque plante **testée**, avec des quantités de 20 g de graines de **niébé** (variété "Black eyed") **à des concentrations** croissantes variant de 1 **à 16 % (P/P)**. Les graines ainsi traitées sont infestées par 5 couples d'adultes de *C. maculatus* **âgés** d'un jour et sont placées dans des boîtes de **pétri** de 90 mm de **diamètre**. Les insectes utilisés proviennent d'une souche de *C. maculatus* originaire du **Sénégal** et maintenue pendant plusieurs **générations** sur la **variété** de **niébé précédemment** indiquée.

Essai 2 - L'activité biologique de feuilles fraîches et de la poudre de feuilles sèches de *B. senegalensis* a **été évaluée** dans les mêmes conditions, suivant la même **procédure** et avec la même **variété** de **niébé** que dans l'essai 1. Cependant, trois traitements ont ici **été considérés** : feuilles fraîches broyées (**T₁**) ; feuilles fraîches **entières** (**T₂**) ; poudre de feuilles sèches (**T₃**).

Pour chaque traitement, le nombre d'adultes morts de *C. maculatus* est noté durant 2 jours et le pourcentage de **mortalité** calculé aussi bien dans les objets traités que dans un témoin non traité. L'effet des **traitements** sur la descendance de *C. maculatus* est **évalué** en comptant le nombre journalier **d'émergences** F1 pendant dix jours.

Traitement	(1) Nombre d'insectes morts après 48h (moyenne ± écart type)						
	Concentration (% P/P)						
	0	1	2	4	8	16	
EckhSe	2,1 ± 1,0 a	2,4 ± 1,9 a	2,8 ± 1,1 a	2,2 ± 1,1 a	3,6 ± 2,1 a-c	6,6 ± 3,4 a	
FeInTi	2,1 ± 1,0 a	1,8 ± 1,5 a	3,0 ± 1,0 a	2,0 ± 1,4 a	2,2 ± 1,9 a-c	1,4 ± 1,3 b	
FeOcBa	2,1 ± 1,0 a	2,0 ± 1,6 a	2,8 ± 1,5 a	2,8 ± 1,9 a	4,6 ± 1,9 a	5,5 ± 3,5 b	
FePrAf	2,1 ± 1,0 a	2,4 ± 2,3 a	2,4 ± 1,8 a	2,8 ± 2,2 a	2,0 ± 1,4 b c	2,6 ± 2,1 b	
FeSeLo	2,1 ± 1,0 a	2,0 ± 1,6 a	3,2 ± 2,9 a	2,8 ± 1,6 a	1,4 ± 1,1 c		
FeCaOc	2,1 ± 1,0 a	2,6 ± 0,9 a	1,8 ± 1,1 a	2,6 ± 1,3 a	3,5 ± 3,5 a-c		
FeKhSe	2,1 ± 1,0 a	1,4 ± 1,1 a	2,4 ± 1,5 a	2,0 ± 2,1 a	4,2 ± 1,3 ab	2,6 ± 1,8 b	
FeCaSi	2,1 ± 1,0 a	2,8 ± 2,1 a	2,8 ± 1,8 a	2,2 ± 1,8 a	2,6 ± 2,3 a-c	2,8 ± 2,2 b	
FeCiPo	2,1 ± 1,0 a	1,8 ± 0,8 a	1,4 ± 1,5 a	2,8 ± 2,2 a	2,6 ± 1,7 a-c	3,0 ± 1,9 b	

) Au sein d'une même colonne, les moyennes suivies par des lettres ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (test de DUNCAN)

Tableau 29 • Toxicité de contact de 9 plantes sénégalaises sur *Callosobruchus maculatus*

3.3. Résultats

Essai 1 - L'observation des résultats sur la mortalité des insectes (tableau 29) montre que le nombre moyen d'individus morts dans les différents traitements varie de **1,4 à 6,6** en fonction de la concentration, contre **2,1** dans le **témoin**. L'analyse de la **variance** des données n'indique aucune **différence** significative de **mortalité** entre les plantes, aux concentrations de 1 à 4% (P/P). Entre 8 et 16 %, les feuilles de *O. basilicum* s'avèrent significativement plus toxiques, tandis qu'à 16 % l'écorce de *K. senegalensis* entraîne la plus forte mortalité.

L'observation des **résultats** sur la descendance de *C. maculatus* (tableau 30) montre que le nombre de bruches **émergées** varie de 8 à 141, en fonction du traitement et de la concentration. L'analyse statistique des **données révèle**, à partir de la concentration de 2 % (P/P), des **différences** significatives de la progéniture observée. Il apparaît notamment que la population F₁ dans les graines traitées avec les feuilles de *S. longepedunculata* passe de 53 individus à la concentration de 1 %, à 8 individus à la concentration de 8 %. A cette **dernière** concentration, le nombre d'émergences est de 22 bruches pour les feuilles de *O. basilicum* contre 45 pour les feuilles de *C. occidentalis*. Pour les autres traitements, il varie de 84 à 97 individus.

Essai 2 - L'observation des résultats du tableau 31 montre qu'à la concentration de 4 %, les feuilles fraîches broyées de *B. senegalensis* entraînent une **mortalité** totale des **adultes** de *C. maculatus* dans un délai de 24 h. A la concentration de 2 %, la **mortalité** des insectes est de 70 % après 48 h et, à 1 %, elle varie de 17 à 27 % dans un délai de 24 à 48 h. Dans les mêmes conditions, les feuilles fraîches **entières** et la poudre de feuilles **sèches** entraînent 0 à 20 % de mortalité après 24 h et 7 à 23 % après 48h.

L'effet des feuilles de *B. senegalensis* sur la population et les **dégâts** de la **progéniture** de *C. maculatus* se traduit pour les feuilles fraîches broyées par une inhibition totale des émergences dès la concentration de 2 % (P/P), d'où une protection complète du **niébé**. A la concentration de 1%, le nombre d'émergences et les **dégâts** de *C. maculatus* dans le traitement avec les feuilles fraîches broyées sont respectivement de 21 individus et 22% de graines **attaquées**. Dans les mêmes conditions, le nombre d'émergences varie de 36,2 à 87,2 adultes pour les feuilles fraîches entières et 4,2 à 53,2 adultes pour la poudre de feuilles **sèches**. Les pourcentages de graines **attaquées** correspondants sont de 36,9 à 60,4 % et 30,8 à 67,5 % respectivement.

L'observation de **l'évolution** des émergences de la descendance de *C. maculatus* montre l'effet le plus significatif chez les feuilles fraîches broyées. En effet, elles entraînent une forte réduction de la population F₁ et un décalage du maximum de la courbe d'émergences, de 4 à 5 jours par rapport aux feuilles fraîches entières et à la poudre de feuilles **séchées** (figure 9).

Traitement	(1) Nombre de bruches émergées (moyenne ± écart type)											
	Concentration (% P/P)											
	0		1		2		4		8			
EckhSe	71 ± 40	a	119 ± 76	a	141 ± 64	a	87 ± 66	ab	89 ± 74	ab	82 ± 58	ab
FeInTi	71 ± 40	a	82 ± 88	a	82 ± 73	a-c	86 ± 96	ab	61 ± 43	a-d	60 ± 59	bc
FeOcBa	71 ± 40	a	101 ± 42	a	123 ± 83	a b	97 ± 56	ab	22 ± 9	cd	15 ± 8	c
FePrAf	71 ± 40	a	117 ± 67	a	65 ± 44	b d	103 ± 40	ab	67 ± 33	ad	133 ± 97	a
FeSeLo	71 ± 40	a	53 ± 23	a	16 ± 9	d	10 ± 4	c	8 ± 5	d		
FeCaOc	71 ± 40	a	109 ± 58	a	123 ± 81	a b	140 ± 88	a	45 ± 7	b-d		
FeKhSe	71 ± 40	a	89 ± 63	a	56 ± 30	cd	82 ± 45	ab	91 ± 56	ab	108 ± 74	ab
FeCaSi	71 ± 40	a	79 ± 55	a	123 ± 125	ab	69 ± 68	b	97 ± 88	a	57 ± 43	bc
FeCiPo	71 ± 40	a	91 ± 55	a	116 ± 74	a-c	121 ± 60	a b	84 ± 14	a-c	100 ± 58	ab

(1) Au sein d'une même colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0,05 (Test de Duncan)

Tableau 30 • Effet de 9 plantes sénégalaises sur les émergences de *Callosobruchus maculatus*

Trait.	Conc % P/P	% mortalité corrigée		Progéniture F1	% Dégâts
		24hr	48hr		
FFB	1	7,4 c	11,1c	21,6 ab	22,0 b
	2	63,0 b	55,6 b	0,0 b	0,0 b
	4	100 a	100 a	0,0 b	0,0 b
	8	100 a	100 a	0,0 b	0,0 b
	16	100 a	100 a	0,0 b	0,0 b
	32	100 a	100 a	0,0 b	0,0 b
	Témoin				61,6 a
FFE	1	7,4 a	18,5 a	36,2 b	49,1 a
	2	0,0 a	7,4 ab	43,6 ab	36,9 a
	4	0,0 a	7,4 ab	69,0 ab	59,8 a
	8	0,0 a	0,0 b	87,2 a	64,8 a
	16	0,0 a	0,0 b	62,4 ab	52,9 a
	32	0,0 a	0,0 b	71,8 ab	60,5 a
	Témoin			61,6 ab	56,3 a
PFS	1	11,1 a	37,0 a	53,2 a	67,5 a
	2	3,7 a	18,5 a	47,6 a	44,4 abc
	4	11,1 a	25,9 a	51,0 a	52,4 abc
	8	11,1 a	33,3 a	49,8 a	33,6 bc
	16	14,8 a	33,3 a	40,2 a	39,7 abc
	32	11,1 a	40,7 a	45,8 a	30,8 c
	Témoin			45,0 a	65,1 ab

a Dans une même colonne les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 5% (Test de Duncan) ;

b Par la formule d'ABBOTT (1925)

Tableau 31 • Effet des feuilles fraîches broyées (FFB) entières (FFE) ou de la poudre de feuilles sèches (PFS) de *Boscia senegalensis* sur *Callosobruchus maculatus*

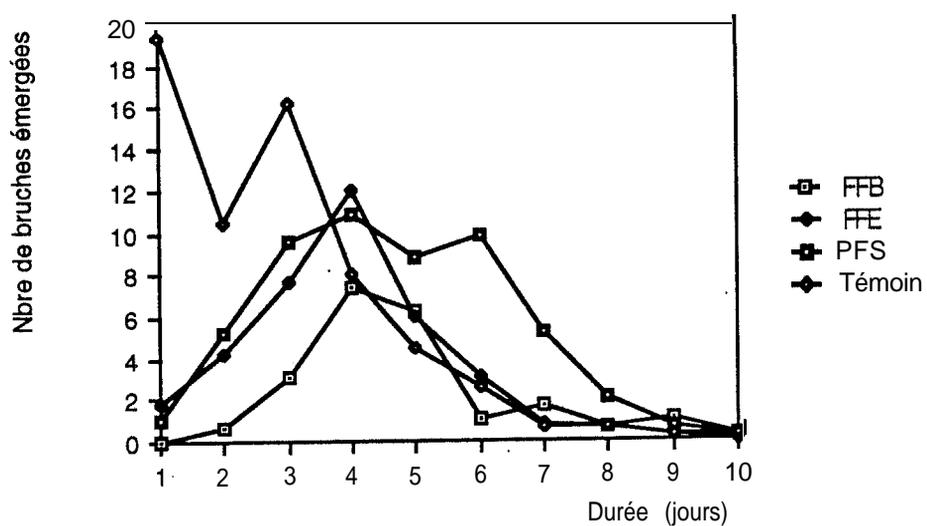


Figure 9 - Effet des feuilles fraîches broyées (FFB) ou entières (FFE) et de la poudre de feuilles séchées (PFS) de *Boscia senegalensis* sur le rythme des émergences F1 de *Callosobruchus maculatus*

4. Conclusion

Cette étude préliminaire a permis de montrer que parmi les neuf plantes sénégalaises étudiées, trois s'avèrent les plus prometteuses : *B. senegalensis*, *S. longepedunculata* et *C. occidentalis*.

Ces plantes ont toutes des propriétés médicinales reconnues dans la pharmacopée traditionnelle locale et possèdent certaines caractéristiques intéressantes pour être un bon produit naturel (BURROUGHS et al., 1988) : il faut que la plante soit annuelle ou à croissance rapide tout en étant rustique. Elle doit être efficace sous forme de préparations brutes ou très simples et être relativement peu toxique pour l'homme et les animaux. Certaines de ces plantes comme *C. occidentalis* ont fait l'objet de nombreuses études phytochimiques à des fins pharmaceutiques (KERHARO & ADAM, 1974 ; MIRALES & GAYDOU, 1986 ; SADIQUE et al., 1987 ; ZAKA et ai., 1988). D'autres, comme *B. senegalensis* et *S. longepedunculata* sont moins étudiées.

✓ GAYDOU

Dans la suite du travail, nous entreprendrons l'étude approfondie de l'activité biologique et des principes actifs des trois plantes les plus prometteuses, à savoir : *C. occidentalis*, *S. longepedunculata*, et *B. senegalensis*.

CHAPITRE IV

Etude de *Cassia occidentalis* L.

1. Généralités

1.1. Systématique et noms vernaculaires

Cassia occidentalis L. appartient à l'ordre des **Fabales**, à la famille des **Caesalpiaceae** et au genre **Cassia**. Ses différents synonymes sont : *Cassia longisilica* L., *Cassia linearia* Michx, *Senna orientalis* Walp. et *Ditremexa carolineana* Rafin.

Les noms communs les plus **répandus** de *C. occidentalis* sont : **café nègre** ou **herbe puante** en français ; **stinking weed**, **coffee senna** ou **stypic weed** en anglais (MASSEY & SOWELL, 1969). Ses principaux noms vernaculaires sont : "**Mbantamaré**" en Wolof ; "**Bénéféné**" en Bambara ; "**Kasalo**" en Mandingue ; **Adame** en Peul/Toucouleur et **Kaputa bana** en Diola (KERHARO & ADAM, 1974).

1.2. Distribution géographique et habitat

Originnaire d'**Amérique du Sud** (AKE-ASSI, 1983), *C. occidentalis* est devenu une **espèce** pantropicale grâce à sa grande **capacité** d'expansion. En Afrique occidentale et **particulièrement** au **Sénégal**, on le rencontre autour des villages et dans les champs où il peut être une redoutable adventice des cultures. C'est ainsi qu'il est cité parmi les dix mauvaises herbes les plus nuisibles de la culture cotonnière (HIGGLINS *et al.*, 1985).

1.3. Morphologie

C. occidentalis est une herbe ou un sous-arbrisseau dressé, annuel ou vivace, d'un mètre de hauteur en moyenne et à **parfum peu agréable** lorsqu'on froisse les feuilles. Celles-ci sont **opposées** et **généralement** imparipennées avec 5 à 8 paires de folioles ovales.

Les fleurs sont en courtes grappes jaunes **axillaires** ou terminales. Les gousses aplaties et étroites, **légèrement** arquées ou droites mesurent 14 cm de longueur et contiennent 10 à 25 graines à maturité (figure 10).

1.4. Composition chimique et pharmacologie

Les premières recherches sur la chimie de *C. occidentalis* ont débuté à la **deuxième** moitié du XIX^e siècle et s'accordaient toutes sur le fait que les graines ne contiennent ni alcaloïde, ni **hétéroside**, ni matière **amère** (HECKEL & SCHLAG-DENHAUFFEN, 1987 ; DUJARDIN-BEAUMETZ & AGASSE, 1889 ; DELOURMAL, 1935, cités par KERHARO & ADAM, 1974). Les travaux menés plus tard permirent de contredire cette **idée** et d'identifier diverses substances dans les feuilles, les graines, les fleurs et les racines de la plante (ANTON & DUQUENOIS, 1968).

Sur le plan pharmacologique, plusieurs auteurs ont mis en **évidence** la **toxicité** des graines de *C. occidentalis* quand celles-ci sont **consommées** par des animaux tels que : cheval, souris, rat, cobaye, chien et vache. Les symptômes se traduisent in fine par des **dégénérescences** musculaires, des hépatites et la mort (BROCQ-ROUSSEAU & BRUYERE, 1925 ; BRUYERE, 1942 ; MOUSSU, 1925 ; DOLLAHITE, 1965 ; HENSON & DOLLAHITE, 1966 ; DOLLAHITE, 1965 ; HENSON & DOLLAHITE, 1966 ; MERCER et *al.*, 1967), cités par KERHARO & ADAM, 1974).

1.5. Utilisations

KERHARO & ADAM (1974) rapportent plusieurs indications **émanant** de **guérisseurs** qui reconnaissent à *C. occidentalis* de nombreuses **propriétés**. Les feuilles et la plante entière sont utilisées pour le traitement de la **stérilité**, des maladies vénériennes, des **hépatites**, du paludisme, des rhumatismes et des brûlures. Les feuilles fraîches et les racines **macérées** dans de l'eau sont utilisées contre les affections de l'appareil respiratoire.

2. Activité biologique sur *Callosobruchus maculatus*

2.1. Introduction

Les données bibliographiques sur l'activité biologique de *C. occidentalis* se limitent à **très** peu de **références**.

L'étude de l'**activité** antifongique d'**extraits** des feuilles donne des **résultats** controversés, selon que le **matériel** végétal est extrait avec de l'eau (NTSAME-OBAME et *al.*, 1991) ou des solvants organiques (GAIND et *al.*, 1966, cité par KERHARO & ADAM, 1974). Quant à l'effet insecticide de *C. occidentalis*, il n'a fait à notre connaissance l'objet d'aucune publication.

Notre **présente expérimentation** a pour but d'**évaluer** l'activité biologique de *C. occidentalis* et éventuellement d'expliquer le (les) mode (s) d'action de **différentes** parties de la plante sur la **bruche** du **niébé**. Pour ce faire, nous avons

testé les feuilles et les graines à l'état brut ou sous forme **d'extraits**, l'huile extraite des graines ainsi que les principaux acides gras constitutifs de cette **dernière**.

2.2. Activité biologique des feuilles et des graines

2.2.1. Matériel et méthodes

Pour évaluer l'activité biologique des feuilles et des graines de *Cassia occidentalis*, nous avons **mené** cinq **expériences** :

Première expérience : des **graines entières** de *C. occidentalis* sont **mélangées** au **niébé** à raison de 5 et 10 % (P/P).

deuxième expérience : des **graines broyées** à l'aide d'un moulin de laboratoire sont **tamisées** sur une grille de 500 μm pour **séparer** le **péricarpe** non broyé de l'amande réduite en poudre. Cette **dernière** est ensuite **mélangée** au **niébé** à raison de 5 % (P/P).

troisième expérience avec des **extraits de graines** : des extraits de graines sont **préparés** en plaçant 10 g de poudre d'amande de graines de *C. occidentalis* dans un Erlenmeyer sovirol de 100 ml en présence de 80 ml d'hexane, d'éther, d'acétone ou de méthanol. Après une agitation pendant 24 h à la température ambiante du laboratoire, l'extrait est **filtré** et **éaporé** au rotavapor **jusqu'à** un volume d'environ 5 ml. Ce dernier est alors **porté** à 20 ml en ajoutant l'un des quatre solvants déjà indiqués. Les bio-essais sont **menés** en appliquant uniformément 2 ml d'extrait sur les graines de **niébé**. La repartition uniforme est **assurée** en actionnant un mélangeur "Turbula" pendant 10 minutes.

quatrième expérience : des **feuilles** récoltées au **Sénégal** sont **séchées** à l'air libre puis **mélangées** au **niébé** à raison de 5 et 10 % (P/P).

cinquième expérience : des **feuilles fraîches broyées** à l'aide d'un moulin **électrique** de laboratoire sont **mélangées** au **niébé** à raison de 5 et 10 % (P/P)

Pour **toutes** les **expériences**, la souche de *C. maculatus* utilisée provient du département de Nioro du Rip (**Sénégal**). Elle a **été élevée** sur des graines de **niébé** de la **variété** black-eyed n° 5. Les tests sont **réalisés** en 5 **répétitions** dans des boîtes de **pétri** (0 = 90 mm) contenant 25 g. de **niébé**. Les conditions **expérimentales** de **température** et d'humidité relative sont **repectivement** de 28 ± 2 °C et 45 ± 5 %.

Les graines et les feuilles séchées de *C. occident&* proviennent de Nioro du Rip (**Sénégal**). Les feuilles fraîches proviennent de plantes cultivées dans les serres de l'UER de Phytotechnie des **régions** chaudes de la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux.

Dans tous les cas, un **témoin** constitue de graines non **traitées** a été comparé avec des graines **traitées à différentes** concentrations du produit brut ou de l'extrait teste. L'infestation est **réalisée** 24 h après le traitement, avec 5 couples de *C. maculatus* âgés de 24 h. L'**émergence journalière** de la descendance F₁ de *C. maculatus* est suivie du 18^e jusqu'au 34^e jour de l'**expérimentation**.

2.2.2. Résultats et discussion

L'observation des **résultats** obtenus montre qu'à la concentration de 5 % (P/P), le nombre total d'émergences de *C. maculatus* varie de 126 sur les graines traitées avec les feuilles **séchées** à 287 sur celles traitées avec les feuilles fraîches. Pour les graines **entières** et la poudre de graines de *C. occidentalis*, 190 et 229 adultes ont été respectivement observés. A la concentration de 10 % (P/P), le nombre de **bruches émergées** est de 154 pour les feuilles **séchées**, 196 pour les graines entières et 294 pour les feuilles **fraîches**. Dans les mêmes conditions, 158 à 277 adultes sont notés sur les graines non traitées (tableau 32).

L'observation des **résultats** obtenus sur l'activité biologique des extraits de graines de *C. occidentalis* (tableau 33) montre que le nombre d'émergences de *C. maculatus* varie, suivant le solvant utilisé, de 166 à 201 adultes sur les graines **traitées**, contre 174 à 1% adultes sur celles non traitées.

Dans nos conditions **expérimentales**, les feuilles et les graines de *C. occidentalis* à la concentration de 5 à 10 % (P/P) d'une part, les extraits acétonique, **éthéré**, hexanique et **méthanolique** des graines d'autre part, n'ont aucun effet sur l'**émergence** de *C. maculatus*. A noter que les feuilles fraîches **utilisées** ont été produites en serre, donc dans des conditions climatiques différentes de celles du Sénégal.

Traitements	Nombre total d'émergences (moy. ± écart-type)		
	Concentrations en % (P/P)		
	0 (témoin)	5	10
Graines entières	166,2 ± 67,8	190,4 ± 80,5	196,0 ± 40,7
Poudre de graines	235,6 ± 79,8	229,0 ± 77,4	-
Feuilles sèches	157,7 ± 43,6	126,0 ± 52,7	154,2 ± 28,2
Feuilles fraîches*	276,8 ± 16,6	288,6 ± 26,3	293,6 ± 17,3

(*) : infestation avec des femelles de la forme "non voilière"

Tableau 32 - Effet des feuilles et des graines de *Cassia occidentalis* sur les émergences de *Callosobruchus maculatus*

Traitements	Nombre total d'émergences (moyennes \pm écart-type)	
	Volumes en ml	
	0 (témoin)	2
Extr. hexane	182,1 \pm 52,2	201,2 \pm 39,8
Extr. éther	173,8 \pm 50,2	165,8 \pm 68,5
Extr. acétone	196,4 \pm 61,0	184,4 \pm 45,7
Extr. méthanol	169,9 \pm 71,7	181,4 \pm 65,5

Tableau 33 • Effet des extraits de graines de *Cussia occidentalis* sur les émergences de *Callosobruchus maculatus*

Ceci peut influencer la composition chimique et l'activité biologique du **matériel végétal**, comme l'ont déjà observé plusieurs auteurs (ERMEL et ai., 1986 ; LEVIN & YORK, 1978 ; SINGH, 1986). L'absence d'activité biologique des feuilles testées ne signifie donc pas que celles des régions chaudes soient sans effet sur la **bruche du niébé**. Quant aux **différences** observées au niveau des moyennes et des **écarts-types** des émergences observées entre les expériences 1 à 3 d'une part et 4 d'autre part, elles s'expliquent par les insectes utilisés dans les deux cas. En effet, dans les deux **dernières expériences**, nous avons infesté les graines avec des **bruches** de la forme "non voilière", dont les femelles ont une durée de vie plus courte et un potentiel de ponte 4 fois supérieur par rapport aux femelles de la forme "**voilière**" (UTIDA, 1972) utilisées dans les trois premières **expériences**.

2.3. Activité biologique de l'huile extraite des graines

2.3.1. Objectif

L'utilisation **d'huiles** végétales pour **protéger** les stocks de **niébé** est une pratique ancienne rapportée par de nombreux auteurs. Les huiles peuvent réduire l'oviposition des femelles ou être toxiques sur les oeufs, les larves et les adultes de *C. maculatus*. Il en résulte une diminution globale du nombre d'**émergences** F1 et des dégâts occasionnés (DON PEDRO, 1989a).

La **présente expérimentation** a pour but d'évaluer l'**activité** biologique de l'huile extraite des graines de *C. occidentalis* sur les différents stades de **développement** de *C. maculatus*.

2.3.2. Matériel et **méthodes**

Les essais sont **menés** dans les mêmes conditions que pour le test de l'activité biologique des feuilles et des graines de *C. occidentalis*. La température et l'humidité relative sont respectivement maintenues à 28 ± 2 °C et 45 ± 5 %.

L'extraction de l'huile est **réalisée** au Soxhlet avec du n-Hexane pendant huit heures. Le solvant est évaporé sous pression **réduite**, à une **température** maximale de 40 °C. Le rendement moyen de trois extractions est de $1,80 \pm 0,36$ %.

Les bio-essais sont **réalisés** en 12 répétitions, dans des boîtes de **pétri** ($\emptyset = 55\text{mm}$), contenant 10 g de graines de **niébé** et en **considérant** quatre objets : graines témoins non traitées (H0) ; graines traitées à raison de 4 ml d'huile / kg de **niébé** (H4) ; graines traitées à raison de 8 ml d'huile / kg de **niébé** (H8) ; graines traitées à raison de 10 ml d'huile / kg de **niébé** (H10). L'huile de *C. occidentalis* est **appliquée** uniformément sur les graines de **niébé** en actionnant un **mélangeur** "Turbula" pendant 10 minutes. Immédiatement après le traitement, les boîtes de **pétri** sont **placées** dans les conditions **expérimentales** et infestées 24 h plus tard avec 2 couples de *C. maculatus* de la forme "non **voilière**", âgés de moins de 24 h. Après douze jours, les adultes morts sont retirés des boîtes de **pétri** et l'on observe le nombre d'oeufs déposés sur les graines ainsi que sur les parois des boîtes de **pétri**. Six jours plus tard, soit dix-huit jours après l'infestation du **niébé**, les nombres d'oeufs morts et **éclos**, ainsi que la mortalité des larves de premier stade sont observés sur un échantillon aléatoire de 30 **graines** par boîte. Puis à partir du 21^{ème} jour jusqu'au 40^{ème} jour après l'infestation, on suit **régulièrement** l'émergence **journalière** de la F₁ de *C. maculatus* dans les différents traitements.

2.3.3. **Résultats** et discussion

L'observation des résultats du tableau 34 montre que l'huile de *C. occidentalis* n'a pas d'effet sur la ponte de *C. maculatus*. En effet, le nombre total d'oeufs pondus est de 114,6 sur les graines **traitées**, contre 119,5 sur celles non traitées. L'analyse de la répartition de la ponte entre les parois des boîtes et les graines montre que 86 % des oeufs sont **déposés** sur les graines lorsque celles-ci sont **traitées** contre 94 % sur les graines non **traitées**.

Doses d'huile	Graines	Parois	Total
H 0	111,7 ± 8,6	7,9 ± 8,6	119,5 ± 15,7
H10	98,7 ± 21,5	15,8 ± 9,7	114,6 ± 17,1

* HO = témoin non traité ; H10 = graines traitées avec 10 ml d'huile / kg.

Tableau 34 - Effet de l'huile de graines de *Cassia occidentalis* sur la ponte de *Callosobruchus maculatus*

L'observation des données du tableau 35 indique qu'à la dose de 10 ml/Kg de niébé, l'huile de *C. occidentalis* entraîne 28,4 % de mortalité chez les oeufs et 56,7 % de mortalité chez les larves de *C. maculatus*.

Doses d'huile appliquées	Pourcentage d'oeufs		Pourcentage de larves mortes
	morts	éclos	
H 0	1,8 ± 1,8	97,6 ± 2,4	0,4 ± 0,8
H10	28,4 ± 6,0	14,4 ± 7,4	57,6 ± 10,8

Tableau 35 - Toxicité de l'huile de *Cassia occidentalis* sur les oeufs et les larves de *Callosobruchus maculatus*

La **synthèse** des différents résultats obtenus montre que l'application de l'huile de *C. occidentalis*, à la dose de 10 ml/Kg de niébé, s'avère efficace contre *C. maculatus*. En effet, elle **présente** des effets ovicides et surtout larvicides, entraînant une **réduction** significative de la progéniture de la bruche du niébé. Divers auteurs ont émis des hypothèses pour tenter d'expliquer le mode d'action des huiles **végétales** sur les insectes des **denrées** stockées. Parmi celles-ci, quatre peuvent être retenues.

La première et la plus souvent émise (DON-PEDRO, 1989_b) est l'asphyxie de l'oeuf suite à l'occlusion du micropyle de ce dernier. Cette **hypothèse** permet d'expliquer l'utilisation quasi exclusive des huiles végétales contre les bruchés du genre *Cullosobruchus* (VAN HUIS, 1991). Cette spécificité pourrait être en relation avec la structure de l'oeuf, notamment à la présence ou non d'un micropyle suivant le genre **considéré** (CREDLAND, 1992). Le micropyle étant **présent** chez les bruches du genre *Cullosobruchus* et pas chez celles du genre

Caryedon, on peut expliquer par cette première hypothèse l'effet ovicide de l'huile de *C. occidentalis* sur *C. maculatus*, alors que dans les mêmes conditions, elle n'eut aucun effet toxique **sur** les oeufs de *Caryedon pallidus* 01. (LIENARD, 1992).

La seconde hypothèse explique le mode d'action des huiles **végétales** par une **réduction** de l'adhérence des oeufs sur les graines. La larve de premier stade alors incapable de prendre appui pour pénétrer dans la graine, meurt de faim **à l'intérieur** de l'oeuf. Nos observations concordent avec cette hypothèse. En effet, lors de nos **expérimentations**, nous avons **noté** que les oeufs de *C. maculatus* se **détachaient** **très** facilement des graines traitées **à** l'huile de ***C. occidentalis***, alors qu'ils restaient bien fixes sur les graines non **traitées**.

La **troisième** hypothèse **émise** sur le mode d'action des huiles **végétales** avance la toxicité de certains de leurs constituants sur un ou plusieurs stades de **développement** des insectes.

Quant **à** la **quatrième** et **dernière** hypothèse, elle explique l'action des huiles par la toxicité de certains de leurs acides gras. Ainsi, les acides oléique et linoléique ont une action ovicide **sur** *C. maculatus* (DON-PEDRO, 1990). Malheureusement, la nature physique ou chimique de cette action reste encore inexploitée.

Nos **résultats** peuvent laisser supposer une éventuelle toxicité des acides gras de l'huile de ***C. occidentalis***. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons envisagé d'**étudier** l'activité biologique des principaux acides gras de l'huile de ***C. occidentalis***. Dans une **première** étape, nous avons procédé à l'analyse chimique de cette **dernière**.

2.4. Activité biologique des acides gras de l'huile

2.4.1 Matériel et méthodes

Analyses des acides gras de l'huile

Les acides gras de l'huile des graines de ***C. occidentalis*** ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse sous forme d'esters méthyliques.

Préparation des esters méthyliques

Environ 10 mg d'huile de ***C. occidentalis*** sont introduits dans un tube SOVIREL de 10 ml en **présence** de 0,5 ml du mélange de sursaturation (méthanol - méthanol/BF₃ 14 % -pentane; 55/25/20 (v:v:v) et de 0,2 ml d'hexane. Le tube bien fermé est plongé dans un bain-marie à 70 °C pendant 1 h 30'. On le laisse ensuite se refroidir avant d'ajouter 0,2 ml de H₂SO₄ 10 % et 0,5 ml de NaCl saturé. La phase supérieure est alors diluée avec du n-Hexane.

Analyse CPG

L'analyse est **réalisée** avec un appareil HEWLET PACKARD HP 5880A dans les conditions chromatographiques suivantes :

Colonne : CPWAX 52 CB (L = 25 m ; diamètre interne = 0,32 um ; épaisseur de phase 0,2 um) de Chrompack

Détecteur : à ionisation de flamme (T = 250 °C)

Gaz vecteur : Helium à 0,7 bar

Température : de 55 à 150 °C à raison de 30 °C / min puis de 150 à 240 °C à raison de 5 °C / minute

Injecteur : "cold on-column".

Les acides gras sont identifiés en comparant leurs temps de rétention avec ceux de témoins injectés dans les mêmes conditions. Les **résultats** sont exprimés en % poids.

Bio-essais

Deux **séries** de tests ont **été réalisées** sur tous les acides identifiés, à l'exception de l'acide linoléique libre. Ce dernier n'a pas été testé à cause de son extrême **instabilité** au contact de l'air. A la température ambiante, les acides linoléique et oléique sont liquides tandis que les acides palmitique et stéarique sont solides (tableau 36).

Noms	Concentration dans l'huile (en %)	Températures de fusion (en °C)	Densités
Ac. linoléique	48,21	201-202	
Ac. oléique	24,04	4	
Ac. palmitique	15,89	63-64	0,853
Ac. stéarique	4,69	69-70	0,847
Ac. linoléinique	3,87	-12	0,914

Tableau 36 - Caractéristiques physiques et concentrations des principaux acides gras de l'huile de *Cassia occidentalis*

Les quantités (volume ou masse) d'acides gras appliqués ont été préalablement calculées en fonction de l'état solide ou liquide des acides et de leur concentration dans l'huile **de C. occidentalis** (tableau 37).

Etat de l'acide	Nom de l'acide	Quantités appliquées
liquide	linoléique	4,82 *
	oléique	2,40 *
solide	palmitique	1,36 **
	stéarique	0,4 **

Tableau 37 • Volumes en ml (*) ou poids en gr () d'acides appliqués en fonction de leur état à température ambiante**

Pour les acides gras liquides, les doses ont **été déterminées** sachant que la quantité d'huile **appliquée** lors du test de l'huile de *C. occidentalis* était de 10 ml par Kg de niébé. Si X **représente** le pourcentage en acide gras liquide de l'huile, le volume (V) appliqué exprime en ml est donné par la formule :

$$v = X/10.$$

En ce qui concerne les acides gras solides, leur dose a **été calculée** en tenant compte de leur concentration dans l'huile et de leur **densité**. Si Y représente le pourcentage d'acide gras solide de l'huile et D la densité de ce dernier, le poids (P) d'acide à dissoudre dans 1 ml de chloroforme est donné par $P = (Y/10).D$.

Le chloroforme a **été choisi** comme solvant parce qu'il assurait la meilleure **solubilité** des **différents** acides gras étudiés.

Dans la première série **d'expérimentations**, les acides gras libres ont **été testés séparément**. Dans une seconde, un **mélange** de l'ensemble des acides gras testés a **été évalué**:

Toutes les expérimentations sont conduites en six **répétitions** dans des boîtes de pétri ($\varnothing = 55$ mm) contenant **2 g** de graines de niébé. Les conditions **expérimentales** de température et **d'humidité** relative sont 28 ± 2 °C et 45 ± 5 % respectivement. Pour chaque acide gras testé, un **témoin** (graines non **traitées**) a **été comparé** à des graines traitées à raison de x ml d'acide gras / kg de niébé, l'huile contenant x % de cet acide gras.

Après le **mélange** uniforme des acides gras avec les graines, ces **dernières** sont placées dans les étuves et **infestées** 24 h plus tard avec deux couples de *C. maculatus* âges d'un jour. Douze jours plus tard, au moment du retrait des adultes morts, les oeufs pondus sur les graines et sur les parois des boîtes sont

dénombrés. La mortalité, l'éclosion des oeufs et la mortalité des larves de premier stade sont observées 18 jours après le début de l'expérience. Puis, à partir du 21^e jusqu'au 40^e jour après l'infestation, on compte l'émergence journalière des adultes F₁ dans chaque traitement.

2.4.2. Résultats et discussion

La composition en acides gras et le profil chromatographique représentatif de l'huile de *C. occidentalis* sont présentés à la figure 11. Les résultats obtenus indiquent que 96,7 % des acides gras sont représentés respectivement par :

- * l'acide linoléique (*Ac. cis, cis 9,12, Octadiénoïque*)
- * l'acide oléique (*Ac. cis 9-Octadécénoïque*)
- * l'acide palmitique (*Ac. hexadécanoïque*)
- * l'acide stéarique (*Ac. octadécanoïque*)
- * l'acide α -linoléique (*Ac. cis, cis, cis 9,12,15 Octadécatriénoïque*).

Les valeurs enregistrées sont en bonne concordance avec celles de MIRALLES & GAYDOU (1986).

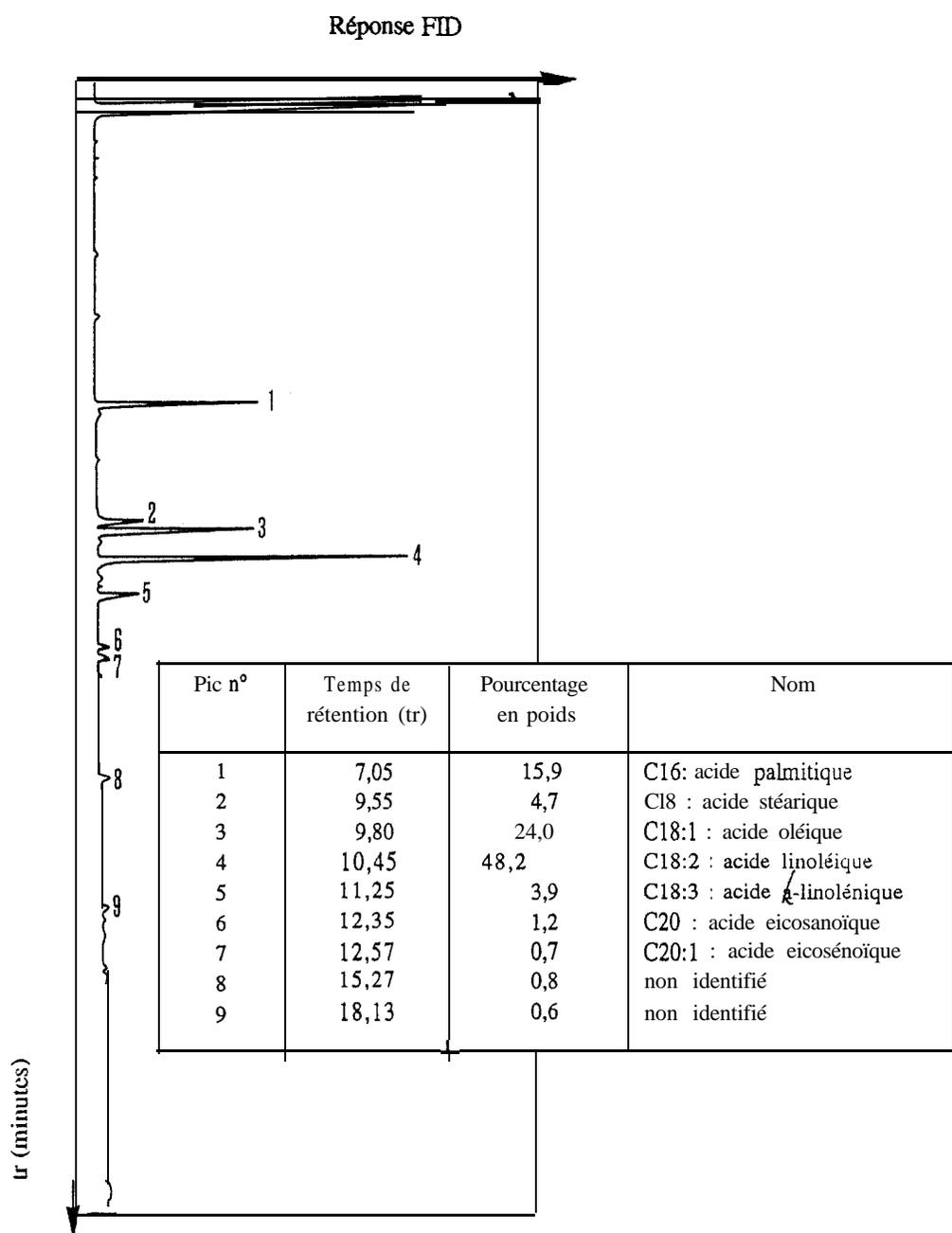


Figure 11 - Chromatogramme représentatif du dosage des acides gras de l'huile de *Cassia occidentalis*

L'observation de la ponte des femelles de *C. maculatus* montre que le nombre total d'oeufs déposés sur les graines traitées avec les acides linoléique, oléique, palmitique et le mélange des quatre acides varie de 109 à 158. Ce niveau de fécondité diffère très peu de celui de 105 à 165 oeufs noté sur les témoins non traités. Il apparaît que seul l'acide stéarique réduit de manière significative le nombre total d'oeufs pondus, avec 22 oeufs contre 153 sur le témoin (tableau 38).

Le pourcentage de mortalité des oeufs est de 3 à 59 % pour les acides gras pris un à un contre 61,4 % pour leur mélange et 1,5 à 4 % pour les témoins. La mortalité des larves L1 est de 1,2 à 4,6 % pour les acides gras considérés séparément contre 23,6 % pour le mélange des quatre acides et 0 à 2,6 % pour les témoins (tableau 39).

Quant à la population totale FI, elle varie de 17 à 83 individus pour les quatre acides gras contre 5 individus pour le mélange et 81 à 124 bruches pour les témoins (tableau 40).

Nos résultats s'accordent avec ceux de DON-PEDRO (1990) sur l'absence d'effet des acides oléique, palmitique et linoléique sur la fécondité de *C. maculatus*, contrairement à l'acide stéarique qui entraîne une réduction significative du nombre d'oeufs pondus par rapport aux autres acides gras testés isolement ou en mélange.

Le manque d'effet du mélange des quatre acides gras sur la ponte de *C. maculatus* traduit l'absence d'activité synergique ou même additive entre les différents acides constitutifs de l'huile de *C. occidentalis*. Cette réponse biologique pourrait s'expliquer par une solubilisation des quatre acides gras entre eux, entraînant une modification de l'activité biologique globale du mélange. Quant à la toxicité des acides gras individuels ou de leur mélange, elle se traduit sous diverses formes selon le stade pré-imaginal de *C. maculatus* et l'acide considérés.

	Graines	Parois	Total
Témoin	116 ± 36,6	20,2 ± 16,8	136,2 ± 34,8
Ac. linoléique	138,2 ± 27,7	9,2 ± 13,7	147,3 ± 29,1
Témoin	95,2 ± 16,7	9,3 ± 9,5	104,5 ± 21,7
Ac. oléique	73,2 ± 25,5	35,8 ± 21,6	109,0 ± 27,9
Témoin	155,8 ± 26,3	8,8 ± 14,2	164,7 ± 30,4
Ac. palmitique	154,5 ± 46,6	3,8 ± 7,0	158,3 ± 42,4
Témoin	146,0 ± 19,3	6,7 ± 9,4	152,7 ± 22,7
Ac. stéarique	20,8 ± 19,0	1,2 ± 1,3	22,0 ± 19,4
Témoin	129,0 ± 23,1	23,8 ± 14,4	152,8 ± 28,4
4 acides gras	128,5 ± 31,9	14,7 ± 11,1	143,2 ± 41,4

Tableau 38 - Effet des acides gras libres de l'huile de graines de *Cassia occidentalis* sur la ponte de *Callosobruchus maculatus*

	Emergences
Témoin Ac. linoléique	117,7 ± 25,2 68,7 ± 29,3
Témoin Ac. oléique	81,5 ± 19,5 20,5 ± 6,7
Témoin Ac. palmitique	124,2 ± 22,0 82,8 ± 4,6
Témoin Ac. stéarique	117,0 ± 13,7 17,2 ± 4,6
Témoin 4 acides gras	83,4 ± 23,3 5,2 ± 3,1

Tableau 40 - Effet des acides gras extraits de l'huile de *Cassia occidentalis* sur les émergences de *Callosobruchus maculatus*

En effet, on observe que les acides linoléique et oléique présentent un effet exclusivement ovicide, en accord avec DON-PEDRO (1990). L'acide palmitique n'est toxique ni sur les oeufs, ni sur les larves de *C. maculatus*. Quant au mélange des quatre acides gras, il est toxique aussi bien sur les oeufs que sur les larves de *C. maculatus*.

Il apparaît donc que tous les acides appliqués seuls ou en mélange réduisent la population F₁ de *C. maculatus*. Toutefois, le mélange des quatre acides d'une part et l'acide stéarique d'autre part, montrent l'effet le plus significatif. Cette réduction des émergences, pourrait être la résultante des effets ovicide et larvicide observés avec les acides linoléique, oléique et le mélange des quatre acides gras. lé lé

Dans le cas de l'acide palmitique, la réduction des émergences F₁ s'explique difficilement à partir de nos expérimentations. Néanmoins, on pourrait avancer l'hypothèse du blocage des adultes dans les cellules pupales (WOLFSON *et al.* 1991).

Pour l'acide stéarique, la réduction des émergences pourrait être une conséquence de la réduction de la ponte et de l'effet ovicide de *C. maculatus*, tandis que pour le

mélange des quatre acides gras il pourrait s'expliquer par des effets ovicides et dans une moindre mesure larvicides.

2.5. Conclusion

Nos **différentes expériences** sur l'**activité** biologique de *C. occidentalis* à l'égard de *C. maculatus* permettent de tirer trois conclusions :

1) les feuilles et les graines **sèches** de *C. occidentalis*, à la concentration de 5 à 10 % (P/P) n'ont aucune activité biologique sur *C. maculatus*. Il en est de même pour les feuilles fraîches, mais dans le cas de ces dernières, des tests doivent être réalisés avec du matériel **végétal** provenant des **régions** tropicales, afin de **confirmer** ou **de réfuter** l'absence d'activité biologique.

2) l'**efficacité** de l'huile de *C. occidentalis* s'explique par un **mécanisme** physique plutôt que chimique, suite à une diminution de l'adhérence des oeufs **et/ou** l'occlusion de leur micropyle, pouvant entraîner l'asphyxie et la mort des oeufs.

3) quant au mode d'action des **différents** acides gras testés, il peut se résumer par le tableau 41 **ci-après**, à savoir : une **réduction** significative de la ponte par l'acide **stéarique** ; un effet ovicide **très** marqué pour les acides linoléique, oleique et le mélange des quatre acides gras ; un effet larvicide **modéré** pour le mélange des quatre acides ; une **réduction** des **émergences** allant de **modérée** pour les acides linoléique et palmitique, à **très** forte pour les acides oleique, stéarique et le **mélange** des quatre acides gras.

	Oviposition	Action ovicide	Action larvicide	Emergences
Linoléique		++		+
Oléique		++		++
Palmitique				+
Stéarique	++	+		++
4 ac. gras		++	+	++

• : Pas d'effet ; + : action peu marquée ; ++ : action très marquée.

Tableau 41 - Synthèse du mode d'action des quatre acides gras considérés séparément ou en mélange sur *Callosobruchus maculatus*

2.6. Effet du traitement avec l'huile de *C. occidentalis* sur la germination des graines de niébé

2.6.1. Objectif

L'efficacité de l'huile de *C. occidentalis* sur *C. maculatus* suggère son utilisation pour la protection des stocks de niébé en milieu rural. Une partie des graines étant destinée aux semis de l'année suivante, il nous a semblé utile d'étudier l'effet du traitement sur la faculté germinative du niébé.

2.6.2. Matériel et méthodes

Des graines de niébé (variété black-eyed n° 5) sont placées dans des boîtes de pétri ($\phi=90$ mm) contenant des papiers filtre imbibés de 15 ml d'eau distillée. Le test est réalisé en 10 répétitions dans une étuve à 28 ± 2 °C et 45 ± 5 % d'humidité relative, à raison de 12 graines par boîte. Quatre jours après le semis, on note la germination aussi bien des graines non traitées que des graines traitées à raison de 10 ml d'huile de *C. occidentalis* par Kg de niébé.

2.6.3. Résultats et discussion

L'observation des résultats du tableau 42 montre que la faculté germinative est équivalente pour les graines traitées et pour les graines non traitées. Le pourcentage de germination est de 98,3 et 99,2 % respectivement.

Dans nos conditions expérimentales, l'huile de *C. occidentalis* n'altère donc pas la faculté germinative immédiate des graines de niébé. Toutefois, tenant compte de la durée de stockage des semences de niébé généralement rencontrée au Sénégal (neuf à onze mois), il serait intéressant de mener l'expérience pendant une plus longue période, pour vérifier l'absence d'effet négatif de l'huile de *C. occidentalis* sur la faculté germinative du niébé.

Objets	Pourcentages de graines germées
graines non traitées	99,2 \pm 2,9
graines traitées	98,3 \pm 3,9

Tableau 42 . Pourcentages de germination de semences de niébé traitées ou non avec l'huile de *Cassia occidentalis*

Selon JOHNSON (1987), la contribution la plus complète sur les *Securidaca* africains et notamment du Zaïre, est due à ROBYNS (1927). Elle a permis de décrire deux espèces (*S. longepedunculata* et *S. welwitschii*) et de subdiviser l'espèce *longepedunculata* en trois variétés distribuées comme indiqué à la figure 12.

Les deux synonymes de *S. longepedunculata* sont *Carpolobia afzeliana* Oliv. et *Carpolobia macrostachya* (Chodat) Stapf. Ses principaux noms vernaculaires au Sénégal sont repris dans le tableau 43.

Dialectes	Noms
Wolof Sérère Bambara Mandingue Peul-Toucouleur Diola Balante	fuf fuf, kuf dom, doto dutu sutu alaté, alali fudara, dudaray tuti

Tableau 43 • Noms vernaculaires de *Securidaca longepedunculata* au Sénégal (traité de DELAUDE, 1992)

1.2. Distribution et habitat

Les différentes espèces de *S. longepedunculata* sont distribuées dans toute la zone intertropicale et sont constituées pour la plupart de lianes. Parmi les 80 espèces reconnues, la majorité sont américaines et seules deux espèces sont rencontrées en Afrique.

Au Sénégal, *S. longepedunculata* est très fréquent dans les savanes arbustives ou boisées soudaniennes, depuis le Sénégal (Cayor, Djolof, Ferlo) jusqu'au contact de la forêt guinéenne casamançaise. Il vit généralement par individus isolés et rarement en peuplements.

1.3. Morphologie de *S. longepedunculata*

Arbuste dressé de 3 à 4 m de hauteur à jeunes branches grêles retombantes et plus ou moins pubescentes. L'écorce est lisse et jaune clair, le bois jaune pâle. Les feuilles alternes sont oblongues, linéaires ou elliptiques et arrondies au sommet. Les fleurs papilionacées, violettes et très ornementales apparaissent en saison sèche. Elles sont en courtes grappes ou en racèmes terminaux. Le fruit est une

samare de 4 à 5 cm de long avec une aile membraneuse **réticulée** de 1,5 à 2 cm de largeur (figure 13).

1.4. Utilisations

KERHARO & ADAM (1974) et DELAUDE (1992) rapportent de nombreuses utilisations de *S. longepedunculata*. Les branches sont **utilisées** comme **matériau** de construction. L'écorce des **rameaux** et du tronc donnent une excellente fibre. Les **lanières d'écorce** conviennent pour la confection de ficelles, de cordages et de vêtements. Le bois **réputé résistant** aux termites et **à la putréfaction** est utilisé pour la fabrication de perches.

Sur le plan **médicinal**, les racines sont reconnues **très** actives contre les parasites intestinaux, les bronchites, la **lèpre** et les maladies vénériennes. Les fruits pilés et placés dans un linge donnent, par **expression**, un liquide utilisé pour le traitement des otites.

Sur le plan **vétérinaire**, les **macérés de racines** sont administrés aux animaux en **voie de dépérissement**. Les **résidus** sont utilisés en massage comme **revigorant** ou **parasiticide externe** et **antiseptique** pour les petites plaies.

Les racines de la plante s'avèrent **très toxiques** sur les poissons et sur les mollusques (ANONYME, 1960 ; FRAGA DE AZEVEDO & MEDEIROS, 1963 ; PRESTA & CORREIA, 1968, cités par KERHARO & ADAM, 1974)). Elles sont aussi utilisées au Sénégal comme dans toute l'Afrique noire pour **éloigner les serpents** des habitations et des troupeaux (DELAUDE, 1992).

1.5. Composition chimique

Les premiers travaux sur la chimie de *S. longepedunculata* remontent au début du **siècle** et conduisirent à l'identification de saponines dans l'écorce (LENZ, 1913 ; cité par WATT & BREYER-BRANDWIJK, 1962 ; KERHARO & ADAM, 1974). En 1923, FABREGUE isole, de l'écorce, une saponine dont DELAUDE (1992) montre qu'elle a pour **génin** la **présénégénine** (figure 14A).

Les racines contiennent du **salicylate** de **méthyle** (KERHARO & ADAM, 1974), sous forme d'un **hétéroside**, le **gaulthérine**. Sous l'action d'une enzyme, ce dernier se dédouble en sucre et en **salicylate** de méthyle quand on **écrase** ou contusionne les racines (PRIESTA & BOURQUELOT, cités par DELAUDE., 1992). Le **salicylate** de **méthyle** (figure 14B) est un composé phénolique aussi caractéristique des Polygalaceae que l'est la **sapnine**. Sa moindre **référence** dans la littérature s'explique par sa **volatilité**, d'où son absence dans les échantillons déshydratés (DELAUDE, 1992).

2. Activité biologique de *S. longepedunculata*

2.1. Activité biologique des feuilles et des fruits

2.1.1. Matériel et méthodes

Quatre répétitions de 20g de niébé (var. Black eyed) sont traitées avec des poudres de feuilles (PFe) ou de fruits (PFr) de *S. longepedunculata*. Celles-ci sont obtenues en broyant des feuilles et des fruits de *S. longepedunculata*, tamisées ensuite sur une grille à mailles de 500 μm .

Les graines de niébé ainsi traitées avec PFe et PFr de *S. longepedunculata* sont placées dans des boîtes de pétri ($\varnothing = 90$ mm) et introduites dans une étuve réglée à 30 ± 2 °C et 80 ± 10 % d'humidité relative. Les concentrations testées sont : 5, 10 et 16 % (P/P). Elles sont infestées 24 h plus tard avec 10 couples de *C. maculatus* âgés d'un jour. L'efficacité des différents traitements est mesurée au 34^e et au 40^e jour après l'infestation (JAI), en observant le nombre d'adultes F1 émergeant, tant des objets traités que des témoins non traités.

2.1.2. Résultats et discussion

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 44. A la concentration de 5 %, le nombre d'adultes F1 émergés dans le traitement avec la poudre de feuilles est de 0,3 individus à 34 jours comme à 40 jours après l'infestation. A la même concentration, les nombres de bruches observées dans le traitement avec la poudre de fruits de *S. longepedunculata* sont de 217 individus au 34^e jour et 256 individus à 40 jours après l'infestation. A partir de la concentration de 10 %, aucune émergence n'est observée sur les graines traitées avec la poudre de feuilles alors que sur celles traitées avec la poudre de fruits, on note de 156 à 256 bruches en fonction de la concentration. Dans les mêmes conditions, on observe sur les graines non traitées 196 insectes au 34^e jour et 269 au 40^e jour.

Traitements Conc (P/P)	Nombre de bruches émergées après (jours)	
	34	40
Témoin	196,0 ± 57,9	269,0 ± 105,5
(PFe) 5	0,3 ± 0,5	0,3 ± 0,5
(PFe) 10	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
(PFe) 16	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
(PFr) 5	217,3 ± 37,8	256,3 ± 36,3
(PFr) 10	208,3 ± 41,1	253,0 ± 22,1
(PFr) 16	156,0 ± 69,0	180,0 ± 59,9

Tableau 44 • Activité biologique de poudres de feuilles (PFe) ou de fruits (PFr) de *Securidaca longepedunculata* sur *Callosobruchus maculatus*

2.2. Activité biologique des racines

2.2.1. Matériel et méthodes

Les racines testées ont été récoltées à Nioro du Rip (Sénégal) en avril 1992 et congelées jusqu'à leur utilisation. Une heure avant l'expérience, elles sont sorties du congélateur et l'écorce prélevée à l'aide d'un scalpel est broyée à l'aide d'un moulin électrique. La pâte obtenue est alors déposée en concentrations variables au fond d'enceintes en verre de volume 750 ml.

Puis, quatre répétitions de 25 adultes de trois espèces d'insectes (*Callosobruchus maculatus* (souche Sénégal) *Sitophilus zeamais* (souche Togo) et *Tribolium castaneum* (souche Sénégal)) placées dans des boîtes grillagées sont introduites dans les enceintes de fumigation qui sont immédiatement fermées. Les conditions de température et d'humidité relative sont de 30 ± 2 °C et $70 \pm 10\%$ respectivement.

Après 24 h, les insectes sont sortis des enceintes puis transférés dans de nouvelles boîtes de pétri pendant 24 heures supplémentaires au bout desquelles la mortalité est observée (FAO, 1962). L'analyse probit des données permet alors de déterminer les CL50 et les pentes des droites de régression dose-mortalité pour les différentes espèces étudiées.

2.2.2. Résultats

L'observation des résultats du tableau 45 montre que les CL50 varient de 1,57 g/l de volume d'enceinte pour *C. maculatus* à 47,06 g/l pour *T. castaneum*. La CL50 de *S. zeamais*, intermédiaire entre ces deux valeurs, est de 21,51 g/l. La sensibilité relative des trois espèces aux racines de *S. longepedunculata* apparaît donc dans l'ordre croissant suivant : *T. castaneum* < *S. zeamais* < *C. maculatus*.

Espèces	Pentes	CL ₅₀ (95% FL) ^a
<i>Callosobruchus maculatus</i>	3,94 ± 0,51	1,57 (1,31-1,82)
<i>Sitophilus zeamais</i>	3,57 ± 0,93	21,51 (16,12-49,80)
<i>Tribolium castaneum</i>	1,39 ± 0,32	47,06 (24,81-239,44)

^a Grammes par litre de volume

Tableau 45 . Toxicité de l'écorce de racine de *Securidaca longepedunculata* sur les adultes de trois espèces d'insectes des denrées stockées

3. Etude chimique de *S. longepedunculata*

3.1. Analyse des produits volatils de l'écorce des racines

3.1.1. Introduction

Les résultats qui précèdent montrent que l'écorce des racines de *S. longepedunculata* fait preuve d'un effet fumigant significatif sur *C. maculatus*, moindre mais non négligeable sur *Z. zeamais* et *T. castaneum*. Broyée, elle dégage une forte odeur de salicylate de méthyle signalée par plusieurs auteurs sur du matériel végétal d'origines diverses.

Ceci nous a conduit à entreprendre l'analyse des produits volatils de nos échantillons dans le but de confirmer la présence de cette molécule et d'expliquer l'activité biologique observée.

3.1.2. Matériel et méthodes

Dix (10) grammes de broyat d'écorce sont introduits dans un flacon hermétiquement fermé et placé à la température de 32 ± 2 ° C. Après une heure, l'espace de tête du dispositif est purgé pendant 30 minutes avec de l'azote pur ("Head Space sampling"). Les produits volatils sont piégés dans 3 ml d'éther diéthylique maintenu à -21°C. La solution obtenue est ensuite analysée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, dans les conditions suivantes :

Colonne : CP sil-5 CB (Chrompack), L = 25 m, $\phi = 0,32$ mm, $df = 0,2$ μ m

Gaz vecteur : He 40 kPa

Température : 30 °C à 240 °C à raison de 8 °C / minute

Appareil : Delsi DI 700 couplé à un spectromètre de masse de type Nermag R

10-10 C (70 eV, source : 130 °C, Interface : 250 °C ; gamme de masse balayée : de 35 à 400 amu).

Le dosage quantitatif des constituants de l'écorce de *S. longepedunculata* est réalisé sur des échantillons de 11 g broyés et extraits pendant 3h avec 5 ml de chloroforme contenant 2 mg de vanilline (4 hydroxy-3-methoxy-benzaldéhyde) comme étalon interne. La vanilline a été choisie comme étalon interne parce qu'elle possède une structure voisine du salicylate de méthyle. De plus, sa masse molaire est identique et cette molécule est parfaitement séparée du produit à doser.

L'analyse est réalisée par chromatographie en phase gazeuse capillaire dans les conditions suivantes :

Colonne : CPWax-52 CB (Chrompack), $L = 25\text{m}$; $\phi = 0,32\text{ mm}$; $df = 0,2\ \mu\text{m}$.

Gaz vecteur : He 100 kPa

Température : SO à 240 °C à raison de 10 °C / minute

Détecteur : FID 250 °C

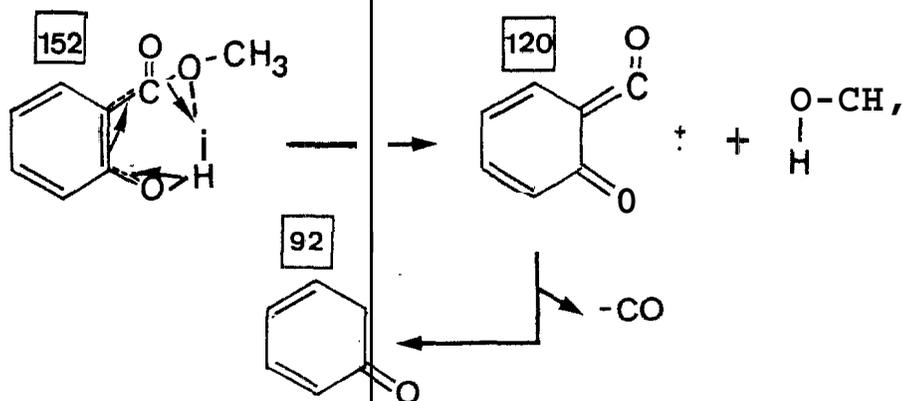
Appareil : Hewlet Packard HP 5880 A.

3.1.3. Résultats et discussion

Le profil chromatographique des produits volatils de l'écorce des racines de *S. longepedunculata* ne montre (que deux pics majoritaires dans les conditions d'analyse utilisées (figure 15).

L'identification du principal constituant (Temps de rétention = 7,29 minutes) par comparaison de son modèle de fragmentation avec celui de la bibliothèque EPA-NIH et par co-injection d'un échantillon pur de référence, conduit au salicylate de méthyle. L'ion moléculaire M^+ apparaît à $m/e = 152$ (43 %).

D'autres fragments typiques ont été observés d'une part à $m/e = 120$, d'autre part à $m/e = 92$. Le premier correspond à un réarrangement induit par la position "ortho" des deux substitués selon le mécanisme ci-après (MAC LAFERTY, 1980) ; le second provient de la perte de "CO" par le premier fragment.



Les analyses quantitatives réalisées sur les extraits chloroformiques de l'écorce de racines de *S. longepedunculata* en prenant la vanilline comme étalon interne, indiquent que le salicylate de méthyle intervient dans les deux échantillons testés pour $5,8 \pm 0,3$ mg/g et $7,4 \pm 0,2$ mg/g respectivement. Deux autres petits pics contenus dans les extraits chloroformiques représentant chacun 0,2 mg/g d'écorce de racines ont été détectés dans le profil chromatographique.

L'examen des spectres de masse montre que le premier d'entre eux pourrait correspondre à un dérivé méthoxy du salicylate de méthyle. Seule une analyse par spectrométrie RMN (Résonance magnétique nucléaire) permettra de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse. Ces travaux sont en cours.

On notera cependant que ces deux produits mineurs n'apparaissent pas dans la fraction volatile émise par les racines de *S. longepedunculata*. De ce fait, ils ne devraient pas contribuer aux effets fumigants observés.

3.2. Dosage du salicylate de méthyle des racines de *S. longependiculata* en fonction de la localité

3.2.1. Introduction

Les travaux menés sur le dosage quantitatif du salicylate de méthyle, dans les racines de *S. longependiculata*, rapportent des teneurs de 0,40 à 0,42 %, en fonction de l'origine du matériel végétal (KERHARO & ADAM, 1974 ; CMELICK & LEY, 1984). Ceci nous a amené à mesurer la teneur en salicylate de méthyle de nos échantillons, afin de la comparer à celles rapportées dans la littérature.

3.2.2. Matériel et méthodes

La méthodologie et les conditions analytiques précédemment décrites ont été appliquées pour doser le salicylate de méthyle de l'écorce de 12 arbres différents, provenant de 5 localités du Département de Nioro du Rip au Sénégal. Ce matériel végétal a été récolté au mois de mai 1992.

3.2.3. Résultats et discussion

L'observation des résultats du tableau 46 montre que la teneur moyenne en salicylate de méthyle des racines varie de 3,3 à 11,4 mg par gramme de matière fraîche, soit 0,33 et 1,14 % respectivement.

Ces résultats indiquent une forte variation en fonction des localités et sont en accord avec ceux de nombreux auteurs, faisant état d'une variabilité de la teneur en principes actifs en fonction de l'origine des plantes étudiées. Il apparaît que 75% de nos échantillons contiennent 1,1 à 2,9 fois plus de salicylate de méthyle que ceux de KERHARO & ADAM (1974) et de CMELICK & LEY (1984).

Des différences de composition chimique se traduisent souvent par des variations dans l'activité biologique des plantes, il est indispensable de préciser l'origine du matériel végétal dans les expérimentations (KERHARO & ADAM, 1974).

Localités	Types de sol a	Teneurs en Salicylate de méthyle b
PROKHANE 1	S	4,5
PROKHANE 2	L	4,0
PROKHANE 3	L	3,3
MBAYE FAYE 1	L	4,5
MBAYE FAYE 2	L	11,4
MBAYE FAYE 3	L	4,4
KEUR NDIAGA 1	s	6,9
KEUR NDIAGA 2	IL	6,1
KEUR NDIAGA 3	S	3,6
BARKEWEL	s	6,6
MEDINA NDI OBENE 1	L	10,8
MEDINANDIOBENE 2	L	9,3

S = sableux ; L = latéritique
b en mg par g de matière fraîche

Tableau 46 - Teneurs en salicylate de méthyle de l'écorce des racines de *S. curidaca longepedunculata* récoltées dans 12 localités du Sénégal

4. Toxicité du salicylate de méthyle pur sur *C. maculatus*

4.1. Matériel et méthodes

Quatre répétitions de 25 insectes sont placées dans des enceintes hermétiques en verre de 750 ml. de volume, contenant des concentrations de 0 à 8 mg/l (P/V) de salicylate de méthyle pur. Les enceintes sont fermées et introduites dans des étuves réglées à 32 ± 2 °C et 80 ± 10 % d'humidité relative. Après 24 h, les insectes sont sortis du dispositif hermétique et transférés dans de nouvelles boîtes maintenues dans les mêmes conditions. La mortalité est observée après 24 h. (BUSVINE, 1981). L'analyse probit des données obtenues permet de calculer la pente de la droite de régression et la CL50 (concentration entraînant la mort de 50 % des insectes) de *C. maculatus* (FINNEY, 1964).

4.2. Résultats

L'observation des résultats du tableau 47 ci-après montre que la CL50 de *C. maculatus* est de 13,04 ppm de salicylate de méthyle.

Espèces ^a	Pente \pm SE	CL ₅₀ (95% FL) ^b
<i>C. maculatus</i>	2,12 \pm 0,53	13,04 (9,39-30,52)

^a âgé de 24h

^b mg/l

Tableau 47 • Toxicité aiguë du salicylate de méthyle pur sur *Callosobruchus maculatus*

CHAPITRE V I

Etude de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir.

1. Généralités

1.1. Systématique

Boscia senegalensis appartient à la famille des Capparaceae, représentée au Sénégal par neuf genres, à savoir : *Boscia*, *Cadaba*, *Capparis*, *Cleome*, *Combionia*, *Crateva*, *Gynandropsis* et *Maerua* (KERHARO & ADAM, 1974).

Le genre *Boscia* comporte trois espèces : *B. angustifolia* A. Rich., *B. salicifolia* Oliv. et *B. senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. Cette dernière se distingue par ses feuilles elliptiques à ovale-elliptiques de 2 à 4 cm de largeur contre 1,5 cm maximum de largeur pour les dix premières espèces (BERHAUT, 1967 ; KEAY, 1958).

Les synonymes de *B. senegalensis* sont *Podoria senegalensis* Pers. et *13. octandra* Hoschst ex. Radlk. Ses noms vernaculaires les plus répandus sont donnés dans le tableau 48.

1.2. Morphologie

B. senegalensis est un arbuste de 1,5 à 3 m de hauteur, souvent branchu dès la base et à feuilles persistantes toujours vertes. Il contraste de ce point de vue avec la plupart des autres espèces sahélo-sahariennes qui perdent leurs feuilles au cours de la saison sèche.

Les feuilles sont rigides et coriaces, glabres ou très finement pubescentes avec cinq paires de nervures latérales. Les fleurs en corymbes terminaux sont verdâtres ou blanc jaunâtres et finement parfumées. Les fruits sphériques de couleur verdâtre ont une surface grumeleuse et un diamètre de 1,5 cm. A maturité, ils deviennent brun jaunâtres et contiennent une ou deux graines vertes noyées dans une pulpe visqueuse (figure 17).

Pays	Dialectes	Noms vernaculaires
Mauritanie	Arabe (Hassaniya) Kresby Maure	Aizen Bokkhelli (fruit) Aïzen/mandiarha
Sénégal	Fula - Pulaar Manding - Bambara Wolof Sérère	Gidili Berifin Ndiandam Mbana
Mali	Fula - Pulaar Manding - Bambara Songhai Tamachek	guidjili bére hoorey tadent
Niger	Fula - fulfuldé Haoussa	guidjili anza
Côte-d'Ivoire	Moore	nabédéga
Ghana	Haoussa	dila
Nigeria	Arabe Shuwa Haoussa	Kursan (plante) makheit anzagi
Soudan	Arabe	mokheit/fruit
Cameroun	Fulfudé Haoussa	anzagi/buuldoumbi anza/damdami shiya

Tableau 48 - Quelques noms vernaculaires de *Boscia senegalensis* en Afrique

?

Figure 19 - Ecologie de *Boscia senegalensis* au Sénégal. Cuirasse latéritique (A) et termitière (B) sur le plateau de Thiès ; dépression en bordure de route à Dara (C) ; sol sableux à l'extrême nord vers Podor (D)

1.4. Utilisations

Sur le plan alimentaire, les **fruits** et les graines constituent une nourriture de subsistance dans beaucoup de régions (BERNUS, 1979 ; BECKER, 1983 ; MAYDELL, 1983 ; SALIH, 1991). Fermentés, ils servent à la fabrication de **bière** (BURKIL, 1985). Les **feuilles** cuites sont consommées comme **légumes** ou mélangées à des bouillies de **céréales** (BOOTH & WICKENS, 1988).

Sur le plan fourrager, les fruits et l'extrémité des jeunes feuilles sont broutées par les bovins, les moutons et les **chèvres** (BAUMER, 1981 ; BOOTH & WICKENS, 1988). Quant aux feuilles **âgées** trop coriaces, elles sont **généralement refusées** par le **bétail** sauf au Nord du **Sénégal** où elles sont très **appâtées**. Dans ce dernier cas, la **consommation** des feuilles pourrait s'expliquer soit par l'absence d'autre **fourrage**, soit par un meilleur goût des plantes, voire même par l'apparition **d'écotypes plus palatables** (BAUMER, 1981).

Sur le plan **médicinal**, les racines, les **écorces** et les feuilles de *B. senegalensis* sont **utilisées** contre les troubles **digestifs** et **oculaires**, la bilharziose et certaines maladies mentales (KERHARO & ADAM, 1974).

Sur le plan **vétérinaire**, les feuilles fraîches **broyées** sont utilisées en fumigation ou en inhalation pour traiter les **rhumes** et la toux des chevaux (BOOTH & WICKENS, 1988). La poudre de feuilles **séchées** est **donnée** aux animaux pour le **déparasitage** interne ou comme **fébrifuge vétérinaire** (BAUMER, 1981).

BOOTH & WICKENS (1988) et MAYDELL (1983) rapportent de nombreux autres usages de *B. senegalensis*. L'écorce et les racines sont utilisées pour la **purification** de l'eau. Les branches sont recherchées comme combustible ligneux. Les feuilles **sont** traditionnellement utilisées contre les ravageurs des **denrées** stockées.

1.5. Phénologie et productivité

Le cycle annuel de *B. senegalensis* s'étale sur toute l'**année**. La floraison commence au **début** de la saison sèche. Les premiers fruits apparaissent au milieu de la saison sèche et entrent en maturité pendant la saison des pluies (**figure 20**).

La productivité potentielle de *B. senegalensis* est **difficile à estimer**, faute de données **précises**. Les **résultats** du tableau 49 indiquent la production foliaire et **fructifère** de la plante dans les conditions arides du Nord du Sénégal.

	Production foliaire (en Kg/ ha)	Poids de MS de 100 feuilles (en g)
1971-72	5,08	24,80
1972-73	3,32	19,18

Tableau 49 • Productivité foliaire et poids de matière sèche (MS) de feuilles de *Boscia senegalensis* au Nord du Sénégal (BILLE & POUPON, 1972)

1.6. Composition chimique

Les tiges **feuillées** contiennent des alcaloïdes (DELAVEAU et *al.*, 1973). Les feuilles contiennent 16 à 35 % de **protéines** (BAUMER, 1981 ; HUCHAR, 1981 ; LE HOUEROU, 1980, cités par BOOTH & WICKENS, 1988). Les graines sont pauvres en **matière grasse** et contiennent 0,9 % d'une huile **composée** à 41,8 % d'acides gras **saturés** (tableau 50).

Teneur en huile des graines	0,9%
Acide oléique	31,4%
Acide linoléique	26,8%
C ₁₆ & C ₁₈	41,8%

Tableau 50 • Analyse des matières grasses des graines de *Boscia senegalensis* (HEGNAUER, cité par KERHARO & ADAM, 1974)

Les **données** du tableau 51 indiquent la composition chimique des **feuilles** et des **fruits** de *B. senegalensis*.

	Feuilles vertes (poids sec) BAUMER (1983)	Feuilles KUCHNAR (1981)	Fruits (poids sec) BAUMER (1983)	Fruits (poids frais) BECKER (1983)
Minéraux % Poids frais	6,90 - 8,80		4 s	
Si %	1,30 - 2,52		0,39	
P	0,07 - 0,14		0,08	0,002
Ca	0,49 - 0,77	1,3	0,11	0,332
Mg	0,17 - 0,56	1,0	0,07	
K	1,20 - 3,82	1,2	1,42	
Vitamines:				
A (mg/100g)				10
B1 (mg/100g)				
B2 (mg/100g)				0,03
PP (mg/100g)				0,03
C (mg/100g)				8,80

Tableau 51 - Composition chimique minérale et vitaminée des feuilles et des fruits de *Boscia senegalensis* (BOOTH & WICKENS, 1988)

2. Activité biologique de *B. senegalensis* sur les principaux insectes des denrées stockées

2.1. Introduction

Nos essais préliminaires ont montré l'activité biologique des feuilles fraîches broyées de *B. senegalensis* sur *C. maculatus*, lorsque celles-ci sont appliquées sur des graines de niébé, à la concentration de 2 à 4 % (P/P). Cet effet se traduit par une mortalité de 63 à 100 % chez les adultes dans un délai de 24 à 48 h, avec une inhibition de l'émergence et des dégâts de la population F₁ de *C. maculatus*.

Dans le but d'expliquer l'activité observée, nous avons testé des feuilles et des fruits de *B. senegalensis*, à l'état brut ou sous forme d'extraits, ainsi que des produits purs identifiés après l'analyse chimique de différentes parties de la plante.

2.2 Activité biologique des feuilles et des fruits

2.2.1. Matériel et méthodes

Des feuilles et des fruits de *B. senegalensis* récoltés à Thiès (Sénégal) au mois de mai 1991 ont été broyés au moulin électrique. Puis, cinq répétitions de 20 g de niébé placés dans des boîtes de pétri sont traités à trois concentrations avec 10 adultes de *C. maculatus* âgés de 24 h. Les conditions expérimentales sont de 30 ± 2 °C et 80 ± 10 % d'humidité relative. La mortalité des insectes est observée pendant trois jours et à partir du 22^e jour après l'infestation, le nombre quotidien d'adultes F₁ émergent de chaque traitement est compté pendant 10 jours. Au 42^e jour, les nombres de graines saines et attaquées sont comptés et le pourcentage de dégâts calculé.

2.2.2. Résultats et discussion

La mortalité observée après 24 h varie de 3,8 à 79,8 % pour les fruits contre 0 à 8 % pour les feuilles. Après 48 h, elle est de 3,8 à 79,8 % pour les fruits et 0 à 24,2 % pour les feuilles. Après trois jours, elle varie de 1,9 à 93,6 % pour les fruits contre 23,4 à 24,8 % pour les feuilles (tableau 52).

L'observation des données sur la progéniture F₁ de *C. maculatus* (tableau 53) montre qu'entre les concentrations de 0,5 et 1 %, le nombre de bruches varie de 1,6 à 3,4 individus pour les fruits contre 4,2 à 4,6 individus pour les feuilles, soit une réduction de l'émergence de 68 à 91 % et 22 à 42 % respectivement par

Traitements	Conc (% P/P)	% mortalité corrigée après (h)*		
		24	48	72
Fruits	0,5	3,8 b	3,8 c	19 c
	1	6,4 b	24,9 b	35,9 b
	2	73,8 a	79,8 a	93,6 a
Feuilles	0,5	0,0 a	0,0 b	23,4 a
	1	3,8 a	5,8 ab	13,0 a
	2	8,0 a	24,2 a	24,8 a

Dans une colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 5 % (Test de DUNCAN).

* Par la formule D'ABBOTT (1925)

Tableau 52 • Toxicité comparée des feuilles et des fruits frais de *Boscia senegalensis* sur *Callosobruchus maculatus*

rapport au témoin non traité. A partir de la concentration de 2 %, seuls les fruits inhibent totalement les émergences de *C. maculatus*. Aux concentrations de 0,5 à 1 %, le pourcentage de graines attaquées varie de 0 à 22 % pour les fruits contre 6 à 46 % pour les feuilles, soit des taux de réductions de 73 à 100 % et 45 à 93 % respectivement par rapport au témoin.

2.3. Comparaison de l'activité biologique des différentes parties du fruit de *B. senegalensis*

2.3.1. Objectif

Le fruit de *B. senegalensis* est une baie **sphérique** avec une partie corticale et une partie centrale composée d'une ou de deux graines, les seules **consommées** au **Sénégal**.

L'activité biologique que nous avons trouvée sur les fruits entiers de *B. senegalensis* nous amène à **évaluer** celle de ses **différentes** parties de la plante dans le but d'une éventuelle valorisation de l'ensemble du produit.

2.3.2. Matériel et méthodes

Des fruits entiers frais (FE), le cortex (CF) et les graines (GF) de *B. senegalensis* ont **été broyés** au moulin **électrique**. Avec la pâte obtenue, trois **répétitions** de 100 g de **niébé** (var. black eyed) contenus dans des bocaux en plastique sont alors traités à cinq concentrations : **0,5 ; 1 ; 2 ; 3 et 4 % (P/P)**. Chaque bocal est ensuite infesté avec 30 adultes de *C. maculatus* âgés de 24 h, puis fermé hermétiquement et placé dans les conditions de **température** 30 ± 2 : °C et 80 ± 10 % **d'humidité** relative.

Quinze jours **après** l'infestation, le nombre d'oeufs pondus est compté sur un **échantillon** de deux **répétitions** de 25 graines, **prélevé** au hasard sur chaque traitement. **L'émergence** des adultes **F1** est ensuite suivie en comptant le nombre d'individus sortant de chaque objet pendant 11 jours. Des **témoins** (bocaux fermes contenant des graines non traitées et des insectes) sont placés dans les mêmes **conditions** que les autres **traitements**.

2.3.3. Résultats et discussion

L'observation des **résultats** du tableau 54 montre qu'à la concentration de **0,5 %**, le nombre moyen d'oeufs pondus sur les graines varie, suivant les traitements, de 25 à **39,5** et la population de la **F1** de 292 à 488 individus. A la concentration de 1 %, la ponte sur les graines est de 5 à 29 oeufs et la population de la **F1** de 47 à 81 individus. Dans les mêmes conditions, les nombres moyens d'oeufs et d'individus notes sur les graines non traitées sont de 69 oeufs et **747,7** individus respectivement.

Traitements	Concentrat. (% P/P)	Nombre d'oeufs (*) par 25 graines	Nombre total d'émergences F ₁
CF	0,5	38,5 ± 12,0	467,7 ± 149,6
	1	3,5 ± 2,1	53,0 ± 10,6
	2	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
	3	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
GF	0,5	39,5 ± 2,1	488,3 ± 156,9
	1	29,0 ± 36,8	47,0 ± 54,0
	2	0,5 ± 0,7	0,0 ± 0,0
	3	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
FE	0,5	25,0 ± 26,9	292,0 ± 141,5
	1	5,0 ± 2,8	81,0 ± 53,9
	2	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
	3	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
	4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
Témoin	-	69,0 ± 29,7	744,7 ± 91,2

(*) moyenne de 2 répétitions

Tableau 54 • Effet du traitement de graines de niébé avec le cortex (CF), les graines (GF) ou le fruit entier de *Boschia senegalensis* sur la ponte et le nombre des émergences F₁ de *Callosobruchus maculatus*

L'analyse statistique des données ne montre aucune différence significative entre l'activité biologique du cortex, celles de l'endocarpe (graine) et du fruit entier de *B. senegalensis*.

Le rythme d'émergence des adultes F1, observé pour les différents traitements à la concentration de 0,5 % est illustré par la figure 21.

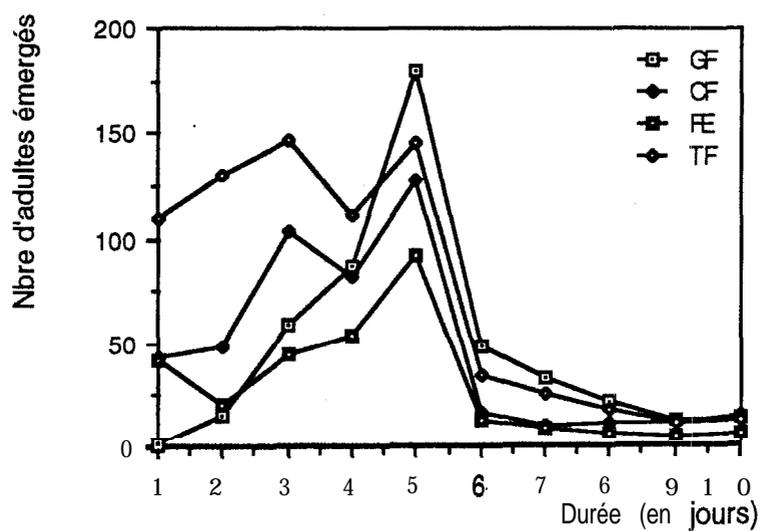


Figure 21 - Rythme des émergences de *Callosobruchus maculatus* sur des graines de niébé traitées avec le cortex (CF), les graines (GF) ou les fruits entiers ; (FE) de *Boscia senegalensis*, à la concentration de 0,5 %

2.4. Effet fumigant d'extraits de fruits de *B. senegalensis*

2.4.1. Objectif

Nos résultats sur l'activité insecticide des fruits de *B. senegalensis* nous ont amené à évaluer l'effet fumigant d'extraits acétoniques de ces fruits sur *C. maculatus* ainsi que sur deux autres ravageurs importants des denrées stockées en Afrique.

Nous avons choisi l'acétone comme solvant, compte tenu de sa moindre toxicité sur les insectes testés, par rapport à l'éther, le méthanol et l'hexane.

2.4.2. Matériel et méthodes

Préparation de l'extrait • 50 g de fruits frais de *B. senegalensis* sont broyés dans un "Waring Blender" en présence d'acétone et laissés à décanter à la température ambiante. Après deux heures, le surnageant est filtré et concentré sous vide à 35 °C. Dans ces conditions de travail, nous avons à chaque fois constaté la persistance d'une phase aqueuse provenant des fruits. Le résidu aqueux a finalement été dilué par l'acétone jusqu'à un volume final de 50 ml. Les solutions ainsi préparées contiennent environ 30 % (V/V) d'eau. A partir de cette solution-mère, des dilutions successives dans des volumes appropriés d'acétone sont préparées.

Bio-essais • Les tests sont réalisés dans des dessiccateurs de volume égal à 825 ml (figure 22) dans lesquels 5 ml de la solution-mère sont déposés. De la même manière, 5 ml d'acétone sont déposés dans des dessiccateurs, identiques considérés comme témoins. Après 3 heures d'évaporation à la température ambiante du laboratoire, trois espèces d'insectes (*C. maculatus*, *Sitotroga cerealella* et *Prostephanus truncatus*), à raison de 100 individus par espèce, sont introduites dans les dessiccateurs. Ces derniers sont hermétiquement fermés et placés dans des étuves maintenues à 32 ± 2 °C et 80 ± 10 % d'humidité relative. Le nombre d'insectes morts de chaque espèce est ensuite compte dans chaque dessiccateur, après des durées d'exposition croissantes de 1,5 à 12 h. Les TL₅₀ (temps nécessaires pour observer la mort de 50 % de la population testée) sont déterminés au moyen de la transformation probit (SNEDECOR & COCHRAN, 1967).

2.4.3. Résultats et discussion

L'observation des résultats obtenus sur l'effet fumigant de *B. senegalensis* montre des TL₅₀ de 2,3 h pour *C. maculatus* et 3,8 h pour *P. truncatus*. Pour *S. cerealella*, tous les adultes meurent dans un délai d'une heure et trente minutes (tableau 55).

2.5. Etude de la relation dose-mortalité et effet des feuilles et des fruits de *B. senegalensis* sur l'oviposition de *C. maculatus*

2.5.1. Matériel et méthodes

Des feuilles et des fruits frais broyés de *B. senegalensis* sont placés en quatre répétitions dans des enceintes hermétiques en verre de volume 750 ml, à des concentrations de 0 à 8 g par litre (P/V) de volume d'enceinte. Ensuite, quatre répétitions de 25 adultes de trois espèces d'insectes (*C. maculatus*, *S. zeamais*, *T. castaneum*), sont placés dans des boîtes grillagées de diamètre 5 cm, puis exposées d'une part aux feuilles, d'autre part aux fruits de *B. senegalensis*. Les enceintes sont immédiatement fermées et placées à 32 ± 2 °C et 80 ± 10 % d'humidité relative.

24 h plus tard les enceintes sont ouvertes et les insectes transférés dans de nouvelles boîtes de pétri placées dans les conditions pré-citées. La mortalité est comptée après 24 h (BUSVINE, 1381). L'analyse probit des données obtenues permet de calculer les pentes des droites de regression et les CL50 (concentration entraînant la mort de 50 % des insectes) pour chaque espèce (FINNEY, 1964).

Pour *C. maculatus*, l'oviposition des femelles est suivie pendant cinq jours, en comptant le nombre d'oeufs pondus sur 10 graines de niébé placées dans les boîtes et remplacées tous les jours.

2.5.2. Résultats et discussion

L'observation des résultats obtenus montre que la CL50 de *B. senegalensis* (exprimée en g de matière végétale et rapporté au volume d'une enceinte d'un litre) est de 1 à 4,23 g/l pour les feuilles et 0,42 à 1,75 g/l pour les fruits, Il apparaît une toxicité variable suivant les espèces, *C. maculatus* étant toujours la plus sensible d'entre elles (tableau 56).

L'observation des résultats obtenus sur la ponte de *C. maculatus*, montre une réduction régulière du nombre total d'oeufs déposés, quand on passe des concentrations de 1 à 4 g/l. A partir de la concentration de 8 g/l, on observe une inhibition totale de la ponte (tableaux 57 & 58).

Les graphiques de la figure 23 illustrent l'évolution de la ponte journalière de *C. maculatus* en fonction du traitement

Espèces a	Fruits		:Feuilles	
	Pente	CL50 (95% FL) ^b	Pente	CL ₅₀ (95% FL) ^b
<i>T. castaneum</i>	8,60 ± 1,00	1,75 (1,63-1,86)	6,14 ± 1,38	4,23 (1,1-16,15)
<i>S. zeamais</i>	7,12 ± 0,79	0,87 (0,80-0,94)		
<i>C. maculatus</i>	4,91 ± 0,75	0,42 (0,36-0,47)	6,15 ± 0,93	1,00(0,88-1,09)

a, Quatre répétitions de 20 insectes sont exposées au matériel végétal pendant 24-h, puis transférées dans des boîtes de pétri et placées en conditions contrôlées (30°C, 70% HR). La mortalité est comptée 24-heures après l'exposition (BUSVINE, 1981)

b grammes par litre de volume

Tableau 56 • Toxicité aiguë des feuilles et des fruits frais de *Boscia senegalensis* sur 3 espèces d'insectes des denrées

2.6. Etude chimique de *Boscia senegalensis*

2.6.1. Introduction

Les données issues de la littérature sur la chimie de *B. senegalensis* se limitent au seul travail de KJAER et al (1973) qui, à l'aide de techniques d'analyse indirecte (hydrolyse des glucosinolates en isothiocyanates par la myrosinase et séparation par chromatographie sur couche mince des thiourées obtenues à partir des isothiocyanates), détectent la présence de glucosinolates dans les rameaux de la plante.

Notre première expérimentation sur *B. senegalensis* a démontré une forte toxicité des feuilles fraîches broyées, contrairement aux feuilles entières fraîches ou aux feuilles sèches broyées utilisées dans les mêmes conditions. Ces observations nous ont fait avancer l'hypothèse que le produit actif est libéré (par dégradation enzymatique) à partir d'un précurseur contenu dans le matériel végétal frais. En effet, le broyage et la présence de l'eau libèreraient le (s) enzyme (s) nécessaire (s) à la libération du précurseur.

Sur la base de ces résultats biologiques et des hypothèses formulées, une série de recherches chimiques ont été menées dans le but d'identifier les molécules responsables de l'activité insecticide de *B. senegalensis*.

2.6.2. Etude de la fraction volatile extraite des feuilles par entraînement à la vapeur d'eau

2.6.2.1. Matériel et méthodes

Deux extraits ont été préparés, d'une part à partir de feuilles fraîches, d'autre part de feuilles lyophilisées broyées.

Extrait 1 • 100 g de feuilles fraîches broyées sont soumises à un entraînement à la vapeur d'eau pendant 45 minutes et la phase aqueuse (900 ml) est extraite trois fois avec 100 ml d'éther diéthylique. Après une déshydratation au sulfate de sodium anhydre, la solution étherée est concentrée jusqu'à un volume de 4 ml, par distillation du solvant à la température de 38°C.

Extrait 2 • 25 g de feuilles lyophilisées broyées sont laissées à macérer dans 900 ml d'eau pendant 3 h 30', à la température de 50 °C puis pendant 3 h 30' à la température ambiante (pour favoriser une éventuelle action enzymatique). Un entraînement à la vapeur d'eau est ensuite mené pendant 1 h et la fraction volatile est extraite trois fois avec 100 ml d'éther diéthylique. Après une déshydratation au sulfate de sodium anhydre, la solution étherée est concentrée jusqu'à un volume de 7 ml par distillation du solvant à la température de 38°C.

Les solutions **éthérées** obtenues sont finalement analysées par chromatographie en phase gazeuse (GLC) en les injectant sur deux types de colonnes de **polarité différentes**, permettant de ce fait de connaître les **données de rétention** des divers constituants. Les conditions chromatographiques sont les suivantes :

*Colonne polaire : CP-Wax 52 CB, L=25m ; $\phi = 0,32\text{mm}$; $df=0,2\mu\text{m}$
(Chrompack)*

Gaz vecteur : He à 100 kPa

Température : de 30 à 240 °C à raison de 10 °C / minute)

Détecteur : FID à 250 °C

Appareil : Hewlet Packard HP 5880 A.

*Colonne apolaire : CP-Sil 8 CB, L = 25 m ; $\phi = 0.32\text{ mm}$; $df = 0.2\ \mu\text{m}$
(Chrompack)*

Gaz vecteur : He à 50 KPa

Température : de 30 à 240 °C à raison de 10 °C / minute

Détecteur : FID à 300 °C

Appareil : Carlo Erba Mega 51 60.

2.6.2.2. Résultats et discussion

Les chromatogrammes représentatifs de la fraction volatile des feuilles de *B. senegalensis* sont reproduits à la figure 24.

Deux constituants majoritaires (A et B) ont été détectés (tableau 59).

produits (minutes) Aire (%)	colonne	tr
93,0	apolaire	6,50
92,0-92,7 *	polaire	9,34
2,3	apolaire	29,33
2,1	polaire	18,59

* Analyse de deux extraits

Tableau 59 - Analyse CPG des extraits EVE de feuilles de *Boscia senegalensis*

Le produit A est détecté sur colonne **apolaire** au temps de rétention (**tr**) de 6,5 minutes et représente 93 % de l'aire totale. Sur colonne polaire, il est détecté au **tr** de 9,34 minutes et **représente** 92 à 92,7 % de l'aire.

Le produit B est détecté sur colonnes **apolaire** et polaire aux **tr = 29,33** et **18,59** minutes respectivement et représente **2,3 %** et **2,1 %** de l'aire des pics correspondants. Il a été identifié avec certitude comme étant le **2,6-Di-tert-butyl-p-Cresol**, un antioxydant que l'on ajoute dans l'éther comme stabilisant. L'origine de cette **molécule** est donc exogène.

Une analyse en CPG de l'extrait 1 sur un appareil muni d'un détecteur thermoionique (NPD) permettant de détecter spécifiquement les **molécules** azotées, montre que la molécule A contient au moins un atome d'azote. Sur base des renseignements trouvés dans KJAER et *al.*, (1963), nous avons injecté diverses substances susceptibles d'être détectées dans les extraits de *B. senegalensis*. Par comparaison des **données de rétention**, nous avons pu formuler l'hypothèse que le produit A correspondrait à l'**isothiocyanate** de méthyle (MITC).

La **détection** du MITC dans les feuilles de *B. senegalensis* suggère la présence de son précurseur, la glucocapparine (méthyle glucosinolate), dans la plante. Dès

lors, la glucocapparine a été recherchée puis dosée dans les feuilles et les fruits de *B. senegalensis*.

2.6.3. Analyse des glucosinolates

2.6.3.1. Généralités sur les glucosinolates

Les glucosinolates sont des substances soufrées identifiées au siècle dernier dans les **Crucifères** (KJAER, 1974). Ils ont attiré l'attention sur la toxicité de leurs produits de dégradation, lesquels ont fait l'objet de beaucoup de travaux portant d'une part sur leur structure chimique et leur répartition entre les espèces **végétales**, d'autre part sur leur rôle dans les relations plantes-insectes (LERIN, 1980).

Les glucosinolates ont été isolés d'une dizaine d'autres familles **végétales** à savoir : Capparaceae, Caricaceae, Euphorbiaceae, Gyrostemonaceae, Limnanthaceae, Moringaceae, Resedaceae, Tropaeolaceae, Tovariaceae, **Salvadoraceae** (KJAER, 1963).

Les plantes à glucosinolates contiennent généralement des enzymes appelées thioglucosidases (ou **myrosinases**) dont le rôle est fondamental dans la dégradation de ces molécules (BJÖRKMAN, 1976). La dégradation conduit, en plus du glucose, à des aglucones instables qui peuvent, suivant les conditions, se transformer en plusieurs types de composés (figure 25). Parmi ceux-ci, les isothiocyanates ont le plus **intéressé** les entomologistes **spécialistes** des médiateurs chimiques.

L'**étude** des relations entre les isothiocyanates et les insectes a permis d'identifier deux types de **mécanismes**, selon que l'insecte est inféodé ou non à la plante émettrice.

Sur les insectes inféodés aux crucifères, les isothiocyanates ont des effets **stimulants** se traduisant par une attractivité à distance, une augmentation de la prise de nourriture, de la ponte et de la **capacité de reconnaissance** de la plante-hôte (FEENY *et al.*, 1970 ; NAULT & STYER, 1972 ; FINCH, 1977 ; MITCHELL, 1977 ; FINCH, 1978 ; STAEDLER, 1978 ; cités par LERIN, 1980).

Sur les insectes non inféodés aux **crucifères**, les produits de dégradation des glucosinolates ont en général des effets dépressifs (FEENY, 1976). Ceux-ci se traduisent par une **anti-appétence**, une toxicité et une répulsion de la plante émettrice, ainsi que par une **réduction** du taux de reproduction des insectes (PAWLOWSKY *et al.*, 1968 ; NAULT & STYER, 1972 ; VAN EMDEN, 1972 ; METZGER & TRIER, 1973 ; BLAU *et al.*, 1978).

2.6.3.2. Matériel et méthodes

Les glucosinolates des feuilles, des fruits frais et de l'extrait acétonique de *B. senegalensis* ont été analysés par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) après désulfatation enzymatique selon la méthode CEE (ANONYME, 1990). La sinigrine a été choisie comme étalon interne. Les glucosinolates ont été identifiés sur l'extrait acétonique d'une part par l'analyse en spectrométrie de masse (GCMS) des molécules triméthylsilylées, d'autre part en examinant leurs produits de dégradation enzymatique libérés en conditions contrôlées.

Pour les études GCMS, les glucosinolates ont été transformés par action de la sulfatase en désulphoglucosinolates, puis triméthylsilylés pendant 20 minutes à la température de 110°C, en utilisant 50 µl d'un réactif contenant du N-méthyl-N-triméthylsilyltrifluorobutyramide, 5 % de méthyl imidazole dans de l'acétone et du triméthylchlorosilane dans des proportions 30 :15:3 (V/V/V) (CWIKOWSKI, 1987). Les conditions chromatographiques sont les suivantes :

Colonne : SE-52 (L = 25 m ; ϕ = 0.35 mm ; df = 0.2 µm) de Macherey-Nagel

Température : de 50 à 280 °C à raison de 20 °C / minute

Gaz vecteur : He à 50 KPa

Interface : 280 °C

Energie des électrons : 70 eV

Analyse : en impact électronique .

Appareil : Spectromètre de masse Nermag RIO-IOC (étalonné au préalable entre 100 et 800 a.m.u) couplé à un chromatographe en phase gazeuse de type DELSI DI-700

La dégradation enzymatique des glucosinolates de *B. senegalensis* a été réalisée en ajoutant 0,1 ml de tampon acétate (pH 4,5) et 50 ml d'une solution tamponnée de thioglucosidase (E.C.3.2.3.1) à 10 mg/ml (purifiée à partir de *Sinapis alba* L. selon APPELQVIST & JOSEPSSON (1967)) dans 0,1 ml d'une solution aqueuse résiduelle de l'extrait acétonique de fruits de *B. senegalensis* ou à une solution de glucocapparine pure (méthyle glucosinolate). Après 24 h, les produits de dégradation sont extraits avec 2 ml d'éther diéthylique et analysés par chromatographie en phase gazeuse sur des colonnes polaire et apolaire. Le MITC libéré par l'extrait acétonique de *B. senegalensis* d'une part, la glucocapparine pure d'autre part, sont alors identifiés en comparant leurs temps de rétention avec ceux de produits de référence.

2.6.3.3. Résultats et discussion

Pour **vérifier l'hypothèse** de dégradation enzymatique des glucosinolates de *B. senegalensis*, nous avons analysé la phase aqueuse **résiduelle** de l'extrait **acétonique** des fruits suivant une démarche en trois étapes (HPLC, identification des produits de **dégradation** des glucosinolates et GCMS).

Le temps de rétention en HPLC du glucosinolate pur (2 minutes) correspondait à celui du pic majoritaire détecté dans l'extrait de *B. senegalensis*. D'autre **part**, les profils **d'élution** des produits **libérés** par dégradation enzymatique de la phase aqueuse obtenue à partir de l'extrait **acétonique** étaient pratiquement identiques à ceux obtenus au départ de **méthyle** glucosinolate ; le MITC reconnaissable sur les chromatogrammes des échantillons **était** absent sur le **blanco**.

L'identification de la glucocapparine **présente** dans l'extrait **acétonique** des fruits de *B. senegalensis* a finalement **été confirmée** par GCMS comme le montre le spectre de masse **caractéristique** (figure 26). Les fragments à $m/e = 103, 117, 147, 169, 204, 243, 271, 361$ (base du pic) et 451 sont générés par la partie glucidique de la **molécule** et sont sans **intérêt** pour l'identification de l'aglycone. Cependant, les ions observés à $m/e = 613$ (**M**)⁺ 598 (**M-CH3**)⁺ 524 (**M-CH3-TMS**)⁺ et 508 (**M-CH3-TMSOH**)⁺ indiquent clairement un glucosinolate **possédant** un radical méthyle. Comme pour tous les autres alkylglucosinolates, son pic **moléculaire** est **caractérisé** par une faible **intensité**.

La teneur en glucosinolate des échantillons de *B. senegalensis* est de $23,6 \pm 0,8 \mu$ mole/g de feuilles fraîches et $38 \pm 1,2 \mu$ mole par g de fruits frais (détermination par HPLC en utilisant la sinigrine comme étalon interne).

Tous ces résultats **démontrent** que :

- * 1) les feuilles et les fruits de *B. senegalensis* contiennent la glucocapparine
- * 2) l'isothiocyanate de méthyle est bien **produit** par dégradation enzymatique.

Dans la suite de nos investigations, nous chercherons à mettre en évidence le MITC, **cette fois libéré au cours des bio-essais** et nous confirmerons par analyse "Head Space" couplée à la **spectrométrie** de masse que cette substance est **émise** directement par la plante.

Dans une étape finale, nous **étudierons** la relation entre la teneur en glucocapparine et l'origine géographique des **échantillons** de *B. senegalensis*.

Usages- Le MITC est à la base de la **synthèse** d'un **très** grand nombre de produits agrochimiques : fongicides, herbicides et **nématicides**. Sa demande **mondiale** atteint 2000 tonnes par an (GIESELMANN *et al.*, 1990). Il est la **matière** active de plusieurs fumigants **employés** pour le traitement des champignons, insectes, **nématodes** et adventices du sol (VAN WAMBEKE *et al.*, 1988).

Résidus- La **littérature** rapporte peu de **données** sur les **résidus** de MITC. VAN WAMBEKE *et al.*, (1988) notent **néanmoins** que le produit est **très** peu **prélevé** par les **végétaux**. La teneur en **résidus** de MITC dans les produits agricoles a été **normalisée** dans la plupart de-s pays **développés**. En Belgique, la teneur maximale admise pour les fruits et **légumes** est de 0.1 **mg/Kg** (VAN WAMBEKE *et al.*, 1988).

Formule chimique	CH ₃ -N=C=S
Données physiques	
Masse molaire	73,1
Point de fusion	35,9 °C
Point d'ébullition	118,7 °C à 1009 mbar
Densité à 37 °C	1,0691 g/cm ³
Tension de vapeur à 20 °C	27,6 mbar
Tension de vapeur à 30 °C	39,0 mbar
Tension de vapeur à 50 °C	88,0 mbar
Chaleur de vaporisation à 149 °	531,2 J/g
Chaleur de fusion	116,2 J/g
Point de flamme	30 °C
pH (3-5 g/l d'H ₂ O)	5-7
Limites d'explosion	
• en dessous de 2,5 % d'air	30 °C
• en dessous de 30 % d'air	100 °C
Solubilité dans l'eau à 20 °C	7,6 g/l
Solubilité dans les solvants organiques	bonne dans l'acétone le dichlorométhane, l'éthanol et le méthanol
Données spectroscopiques	¹ H-RMN (CDCl ₃) CH ₃ = 3,3 ppm IR N=C=S : 2133, 2211 (cm ⁻¹)

Tableau 60 - Quelques données physiques et chimiques sur l'isothiocyanate de méthyle (GIESELMANN *et al.*, 1990)

2.7. Teneur en glucocapparine de *B. senegalensis* en fonction de l'organe et de la localité

2.7.1. Objectif

L'objectif de cette étude est d'évaluer la teneur en glucocapparine de feuilles et de fruits de *B. senegalensis* récoltés dans différentes régions du Sénégal.

2.7.2. Matériel et méthodes

Les glucosinolates de feuilles et de fruits de *B. senegalensis* ont été dosés par HPLC, en utilisant la méthode officielle de la CEE dans les conditions précédemment indiquées. Le matériel végétal analyse a été récolté dans huit localités du Sénégal entre le 31 Avril et le 2 Mai 1992.

Pour chaque station, des feuilles et des fruits (si ces derniers existaient) sont récoltés à partir de 3 à 6 arbustes et immédiatement conservés au froid. Au laboratoire, les prélèvements de feuilles d'une part et de fruits d'autre part provenant de chaque station, sont mélangés pour constituer les échantillons représentatifs des sites. De ces échantillons, nous avons prélevé des sous-échantillons (20 g de feuilles ou de fruits). Ces derniers sont ensuite lyophilisés, placés dans des dessiccateurs et conservés dans une chambre climatisée à 4 °C.

Pour chaque station, un spécimen de la plante est déposé au Jardin Botanique National de Belgique.

2.7.3. Résultats et discussion

L'observation des résultats du tableau 61 montre que la teneur en glucocapparine des échantillons de *B. senegalensis* varie de 60 à 144 μ mole/g pour les feuilles, contre 46 à 91 μ mole/g pour les fruits. L'analyse statistique des données indique des différences significatives entre les localités d'une part, les feuilles et les fruits d'autre part.

Il apparaît aussi bien pour les feuilles que pour les fruits, une tendance d'augmentation de la teneur en glucocapparine en fonction de la latitude. En effet, les teneurs observées à Dakar et à Thiés s'avèrent toujours plus faibles que celles obtenues à Podor, Richard-Toll et Dagana.

L'analyse des données climatiques des points de prélèvement considérés (Météorologie Nationale du Sénégal) montre d'importantes variations entre les stations. En effet à Dakar, la température du mois d'Avril (antérieur à la récolte des échantillons) varie de 18 à 21 °C et l'humidité relative est de 78 %. A Podor, ces mêmes paramètres sont de 21 à 39 °C et 30 % respectivement. Quant à la

Localités	Teneur en glucocapparine ($\mu\text{g/g}$) *	
	feuilles	fruits
Dara	144a	46b
Dakar	72c	58b
Richard Toll	136a	86a
Podor	106b	91a
Thies	60c	-
Linguère	107b	-
Louga	114b	-
Dagana	139a	-

* Dans une même colonne, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau 0.05 (Test de DUNCAN)

Tableau 61 - Teneur en glucocapparine de feuilles et de fruits de *Boscia senegalensis* prélevés de différentes localités du Sénégal

pluviométrie annuelle de ces deux zones extrêmes, elle est de 578 mm à Dakar contre 336 mm à Podor.

Si la répartition de la teneur en glucosinolates n'a jusqu'ici fait l'objet d'aucune publication **sur *B. senegalensis*, elle a été** beaucoup **étudiée sur le colza (*Brassica napus* L.)** dans le cadre des **normes** européennes fixées sur cette culture (CWIKOWSKI, 1987).

Divers travaux ainsi **menés** sur les facteurs de variation de la teneur en glucosinolates du colza (JOSEFSON & APPELQVIST, 1968 ; MARLER & CORNISH, 1987 ; SALISBURY et **af.**, 1987, cités par CLOSSAIS-BESNARD, 1991) permirent de mettre en **évidence** d'une part une fluctuation des teneurs en fonction de l'organe **considéré**, d'autre part une augmentation de la concentration sous l'effet du stress hydrique. Nos **résultats** sont en accord avec cette constatation.

Il est **à noter** que, dans le cas de ***B. senegalensis*** qui est une plante **pérenne**, beaucoup d'autres facteurs comme le stade phénologique des plantes, l'état de **maturité** des organes, la nature et la composition chimique du sol ainsi que l'effet des saisons pourraient intervenir. Il serait **intéressant** de mesurer leurs effets individuels et combinés sur la teneur en glucocapparine et l'activité insecticide de ***B. senegalensis***.

2.8. Etude de la relation dose-mortalité du MITC

2.8.1. Matériel et méthodes

Des concentrations de 0 à 3 **mg/l** (de volume d'enceinte (P/V)) de MITC pur sont déposées dans les mêmes enceintes que pour la **détermination** de la relation **dose-mortalité** des feuilles et des fruits de ***B. senegalensis***. **Immédiatement** après, quatre **répétitions** de 25 adultes de trois espèces d'insectes, **à savoir : *C. maculatus*, *T. castaneum* et *S. zeamais***, sont **placées** dans les enceintes. Ces dernières sont **fermées** et introduites dans des **étuves réglées à 32 ± 2 °C et 80 ± 10 % d'humidité relative**. La mortalité des insectes est ensuite **évaluée** suivant la méthode **précédemment indiquée**.

2.8.2. Résultats

L'observation des **résultats** du tableau 62 montre que les **CL₅₀** observées varient de **0,73 à 2,38** mg par litre en fonction des espèces d'insectes.

Espèces ^a	Pente	CL50 (95% FL) ^b
<i>Tribolium castaneum</i>	7,05 ± 0,58	2,38 (2,24-2,52)
<i>Sitophilus zeamais</i>	7,22 ± 1,18	1,25 (1,14-1,34)
<i>Callosobruchus maculatus</i>	4,81 ± 0,59	0,73 (0,64-0,82)

a Quatre répétitions de 20 insectes sont exposées au matériel végétal pendant 24-h, **puis** transférées dans des boîtes de pétri et placées en conditions contrôlées (30°C, 70% HR). La mortalité est comptée **24-hr après** l'exposition (BUSVINE, 1981).

b mg/l

Tableau 62 - Toxicité aiguë de l'isothiocyanate de méthyle sur trois espèces d'insectes des denrées stockées

2.9. Conclusion

Nos résultats montrent qu'en plus de ses **propriétés** médicinales reconnues (DALZIEL, 1948) et de ses utilisations alimentaires (BECKER, 1986 ; SALIH *et al.*, 1991), *B. senegalensis* a un potentiel extraordinaire dans le domaine de la protection des **denrées stockées**.

ALZOUMA & BOUBACAR (1985) notent que des feuilles d'**écotypes** nigériens de *B. senegalensis* sont toxiques et réduisent la fécondité de *Bruchidius atrolineatus* PIC et de *C. maculatus* mais ne donnent aucune indication sur les principes actifs en jeu.

KJAER *et al.* (1973) rapportent la présence de méthyle et d'isopropyle glucosinolate dans les rameaux de *B. senegalensis*.

Notre étude a permis de mettre en évidence la **présence** de glucocapparine et de MITC non seulement dans les feuilles mais aussi dans les fruits de *B. senegalensis*. Elle a aussi **démontré** que l'activité biologique de *B. senegalensis* résulte de la **présence** d'un **précurseur**, la glucocapparine qui, par dégradation enzymatique, libère le MITC responsable de l'effet insecticide observé.

3. Application de *B. senegalensis* au stockage en milieu hermétique

3.1. Evolution des concentrations en O₂ et CO₂ et développement de *C. maculatus* en fonction de la durée de stockage du niébé.

3.1.1. Matériel et méthodes

Nous avons mené deux **expériences** dans des bocaux en verre de tailles différentes, en utilisant la **variété** de **niébé** CBE5. Les conditions expérimentales sont identiques dans les deux cas, à savoir : **30 ± 2 °C de température** et **80 ± 10 % d'humidité relative**.

La **première** expérience a **été** menée dans des bocaux de volume de 210 ml (**B210**). Quatre répétitions de sept **séries** de bocaux et trois traitements **ont été** considérées : (TO) : 30 g de graines non infestées ; (**T1**) : **30 g** de graines **infestées** avec 50 adultes de *C. maculatus* âgés de 24 h ; (T2) : 30 g de graines portant toutes des oeufs pondus sept jours avant **l'expérience (L7)**.

Les graines utilisées dans ce dernier traitement sont obtenues en plaçant, sept jours avant le début de l'expérience, des **bruches** fraîchement **écloses** sur du **niébé** sain, pendant 48 h. Ensuite, les insectes sont retirés et on trie les graines portant des oeufs. **L'éclosion** de ces derniers, dans les conditions expérimentales **considérées**, donne des larves de premier et de **deuxième** stades

La seconde **expérience** a été **menée** dans des bocaux identiques à la Première expérimentation, sauf que leur volume est ici de 850 ml (**B850**). Quatre répétitions de sept **séries** de bocaux et deux traitements ont **été** considérés : (TO) : **121 g** de graines saines ; (**T1**) : **121 g** de graines **infestées** avec 200 adultes de *C. maculatus* âgés de 24 h.

Immédiatement après l'infestation, les bocaux sont hermétiquement fermes avec des couvercles métalliques de type "**Eurocap**". La fermeture est **réalisée** avec un appareil à pression de l'**U.E.R** de Technologie Agro-alimentaire. Avant la fermeture des bocaux, des bouchons de lyophilisation en **matière** plastique **étanche** sont placés dans des trous **calibrés**, forés sur les couvercles à l'aide d'une mèche de **diamètre** 4 mm.

Dans les deux cas, les concentrations journalières **en** O₂ et en **CO₂**, dans chaque bocal, sont **mesurées** pendant 7 jours par l'analyse en chromatographie en phase gazeuse (CPG) de prises d'essais de 300 µl d'air **prélevé** en piquant dans les bouchons avec une seringue à gaz. Les conditions chromatographiques sont les suivantes :

Oxygène : colonne remplie de Porapak Q (60-80 mesh), $L=1$ m ; $\phi = 1/8$ de pouce

Dioxyde de carbone : Colonne remplie de tamis moléculaire 5 Angström, $L = 1,75$ m ; $\phi = 1/8$ de pouce

Gaz vecteur : Argon à 30 ml par minute

Conditions d'analyse : injecteur, four et détecteur sont maintenus à la température ambiante

Détecteur : catharomètre : courant de révélation fixé à 110 mA, atténuation = 8

Appareil : Carlo Erba Fractovap 2350

L'étalonnage en CO₂ et en O₂ a été réalisé par injection d'un gaz de référence, de composition exactement connue.

Après la mesure des atmosphères gazeuses, les bouchons sont retirés et les bocaux **replacés** dans les Cuves pour observer le **développement** de la prochaine **génération**. L'émergence **journalière** des adultes F₁ est alors suivie en comptant le nombre d'adultes de chaque bocal pendant 14 jours.

3.1.2. Résultats

L'observation des **résultats** obtenus (figure 30) montre que la concentration en gaz varie peu pour les graines saines, contrairement à celles infestées de larves ou d'adultes.

Dans les bocaux de 210 ml, la teneur en O₂ reste pratiquement invariable autour de 21 % pour les graines saines. Dans le cas des graines infestées, elle passe de 6,5 à 0 % en présence des larves contre 16 à 2,3 % en **présence** des adultes. Quant à la concentration en CO₂, elle reste nulle pour les graines saines et augmente **régulièrement** pour les graines infestées, passant de 3,6 à 15,2 % en **présence** des larves contre 19,2 à 22,8 % en présence des adultes.

Les résultats obtenus avec les bocaux de 850 ml confirment les tendances **observées** avec les bocaux de 210 ml. En effet, pour les graines saines, les concentrations en O₂ et en CO₂ évoluent peu autour des valeurs de 20-21 % et 0 % respectivement. Sur les graines **infestées** avec les adultes, la concentration en O₂ passe de 19,2 % au premier jour à 2,2 % **après** sept jours. Dans le même temps, la concentration en CO₂ passe de 1,9 à 15,1 %.

L'observation du **développement** et de la multiplication de *C. maculatus* (tableau 63) montre un effet biologique significatif du stockage hermétique au bout de 4 à 5 jours. En effet, dans nos conditions expérimentales, il apparaît un prolongement de la **durée** de développement de *C. maculatus* de 1 à 8 jours et une chute brutale de la population F₁ qui enregistre une **réduction** de 60 à 100 % par rapport au témoin.

L'observation du **profil** des émergences **journalières** de la descendance de *C. maculatus* montre une **réduction** de l'amplitude et un décalage des maxima des courbes dans le sens des **durées** de stockage croissantes (figure 3 1).

L'évaluation de l'effet **léthal** du milieu **hermétique** sur les adultes de *C. maculatus* explique les **résultats** observés sur la **progéniture**. la mortalité observée est **modérée (30,5%)** après trois jours. Au **quatrième** jour elle est de **91,5%** alors qu'à partir du cinquième jour, elle atteint 100 % (tableau 64).

Durée de stockage (jours)	Nbre d'insectes morts/50 Répétitions				Total/200	% mortalité
	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	10	16	18	17	61	30,5
4	47	46	45	45	183	91,5
5	50	50	50	50	200	100
6	50	50	50	50	200	100
7	50	50	50	50	200	100

Tableau 64 - Mortalité des adultes de *Callosobruchus maculatus* en fonction de la durée de stockage dans les bocaux de 210 ml

3.2. Combinaison de *B. senegalensis* au stockage du niébé en milieu hermétique

3.2.1. Matériel et méthodes

Quatre répétitions de 250g de niébé contenues dans des bocaux en verre de 700 ml sont traitées avec des fruits frais broyés de *B. senegalensis*, récoltes à Thiès (Sénégal) au mois de mai 1992. Trois concentrations ont été testées : 1,2 ; 2,4 et 4,8 g/l (P/V). Celles-ci correspondent respectivement à une, deux et trois fois la CL₉₉ que nous avons précédemment déterminée pour les fruits de *B. senegalensis* à l'égard de *C. maculatus*.

Immédiatement après le traitement, les graines de niébé sont infestées avec 25 adultes de *C. maculatus* âgés de 24 h.. Ensuite, les enceintes sont fermées et placées dans les conditions de température 32 ± 2 °C et 80 ± 10 % d'humidité relative. Des graines non traitées sont infestées de la même manière, et placées dans les mêmes conditions expérimentales.

L'émergence de la descendance F1 de *C. maculatus* est ensuite observée aux 69^e, 72^e et 82^e jours après le début de l'infestation. A chaque contrôle, le pourcentage de réduction de l'émergence est calculé par rapport au témoin.

3.2.2. Résultats

L'observation des résultats du tableau 65 montre, qu'au premier contrôle (69 jours), le nombre de bruches émergées est de 190,8 pour les graines non traitées, contre 75 individus pour les graines traitées à la concentration de 1,2 et 0 individus pour celles traitées aux concentrations de 2,4 et 4,8 g/l. Aux second et troisième contrôles la population de *C. maculatus* varie de 208,8 à 306,8 pour le témoin ; 76,3 à 96 individus pour la concentration de 1,2 g/l et reste nulle aux concentrations plus élevées. Les taux de réduction calculés à partir de ces données de l'émergence varient de 60 à 100 % en fonction de la concentration.

Conclusions générales

Dans les greniers traditionnels, huit **espèces** d'insectes s'attaquent au mil stocké parmi lesquelles *S. cerealella* est de loin la plus importante. Plusieurs **générations** se chevauchent au cours de l'année mais le **maximum** de pullulations est observé pendant la saison des pluies où l'humidité relative de l'air **élève** la teneur en eau du grain.

L'**infestation** initiale de *S. cerealella* a lieu au champ. Elle est dix fois plus faible pour les champs de mil **éloignés** que pour les champs proches des villages. Le **prélèvement** des semences **parmi** les épis de ces derniers explique l'importance des **dégâts de *S. cerealella*** en milieu rural au Sénégal.

En ce qui concerne le stockage du **niébé**, nous avons d'abord évalué plusieurs **matières** actives susceptibles d'assurer une protection chimique judicieuse. Dans les conditions **considérées**, la **deltaméthrine** a été le meilleur produit. En effet, elle a permis, en une seule application, de contrôler l'infestation et les **dégâts** de *C. maculatus* pendant six à sept mois. Elle pourrait être **intéressante** au niveau industriel, pour la protection de tonnages importants de **niébé** contre la bruche.

Dans le cadre de la conservation du **niébé à l'échelle** villageoise, nous avons **étudié trois méthodes alternatives** à savoir : la résistance **variétale**, le stockage en fûts **métalliques hermétiques** et l'utilisation de ***Azadirachta indica***.

La résistance variétale - L'évaluation de 80 **variétés sénégalaises** de **niébé à l'égard** de *C. maculatus* a permis d'identifier des sources de **résistances** chez six d'entre elles. Elles sont **caractérisées** par une moindre attractivité pour la ponte des femelles, un taux de réussite et une progéniture faibles à nuls par rapport aux autres variétés testées. Ce matériel **génétique** local peut donc être utilisé pour **améliorer** la **résistance** des **variétés** actuellement cultivées au **Sénégal**, lesquelles s'avèrent **généralement très sensibles** aux attaques de *C. maculatus*:

Le stockage en fûts métalliques - Le stockage du **niébé** dans des fûts **métalliques hermétiques** permet de conserver sans insecticide des graines de **niébé** avec une excellente valeur commerciale et une **faculté** germinative tout à fait satisfaisantes **après** six mois. Toutefois, pour avoir des chances de valorisation, cette mesure doit s'accompagner de crédits aux agriculteurs pour l'achat des infrastructures de stockage.

Utilisation du neem (*Azadirachta indica*) - L'utilisation de feuilles et de fruits de *A. indica*, sous forme de formulations facilement réalisables en milieu rural, a permis de contrôler l'infestation et les dégâts de la bruche du **niébé**. L'importance des surfaces **occupées** et la **productivité** de *A. indica* au **Sénégal** permettent d'envisager l'exploitation des **propriétés** insecticides de cette plante

récemment introduite d'Inde et justifient aussi l'étude des performances des plantes indigènes à effet insecticide.

Dans la partie du travail consacrée à l'étude des plantes sénégalaises nous avons, sur la base d'enquêtes menées en milieu rural, recensé neuf plantes potentielles. L'évaluation de ces dernières en conditions contrôlées a permis de retenir les trois plus intéressantes, à savoir : *Cassia occidentalis*, *Securidaca longepedunculata* et *Boscia senegalensis*.

C. occidentalis - L'huile extraite des graines de *C. occidentalis* présente des effets ovicides et surtout larvicides sur *C. maculatus*. Il en résulte une réduction significative de l'émergence et des dégâts d'une nouvelle génération d'insectes. Le mode d'action de l'huile de *C. occidentalis* s'explique par un effet physique direct (réduction de l'adhérence) et/ou asphyxie des oeufs de *C. maculatus*. Pourraient aussi s'ajouter les effets ovicides et larvicides des acides linoléique, oléique, palmitique et stéarique que nous avons identifiés dans l'huile de *C. occidentalis*. Les résultats obtenus sur *C. occidentalis* permettent d'envisager son utilisation dans la protection des semences de niébé en milieu rural. Le traitement n'affecte pas la faculté germinative immédiate des graines de niébé et l'extraction de l'huile est réalisable au moyen des presses employées pour la trituration artisanale de l'arachide.

S. longepedunculata - Le traitement de graines de niébé avec la poudre de feuilles de *S. longepedunculata*, à la concentration de 5 à 10 % (P/P), entraîne une forte réduction voire une inhibition totale de l'émergence d'une nouvelle génération de *C. maculatus*. L'écorce de racines fraîches broyées s'avère toxique sur *C. maculatus* (CL50 de 1,57 g d'écorce par litre d'enceinte). *S. zeamais* et *T. castaneum* testés dans les mêmes conditions s'avèrent 15 et 30 fois moins sensibles respectivement. L'analyse de la phase volatile de l'écorce a conduit à l'identification d'un seul constituant (le salicylate de méthyle) dont la nature a été précisée par CC-MS, FTIR et ¹H RMN. Ce produit a ensuite été dosé par CPG à partir d'extraits chloroformiques sur des échantillons récoltés de 12 localités du Sénégal. L'observation des teneurs mesurées montre des différences significatives entre les localités et surtout, fait apparaître que nos échantillons présentent des teneurs 2 à 3 fois supérieures à celles rapportées dans la littérature.

B. senegalensis - Les différentes expériences menées sur *B. senegalensis* ont permis de mettre en évidence une activité biologique significative sur *C. maculatus*, *P. truncatus*, *S. zeamais*, *S. cerealella* et *T. castaneum*. Les feuilles fraîches broyées mélangées avec des graines de niébé, à la concentration de 4 % (P/P), entraînent une mortalité de 100 % chez des adultes de *C. maculatus* dans un délai de 24 h, d'où l'absence d'une nouvelle génération et de dégâts de celle-ci. Les fruits frais broyés présentent une activité tout aussi significative. A partir de la concentration de 2 % (P/P), ils diminuent l'émergence de *C. maculatus* de 95 % et réduisent les dégâts de 93 % par rapport au témoin non traité. L'extrait acétonique de fruits frais fait preuve d'un puissant effet fumigant sur trois espèces

d'insectes. Les **TL₅₀** calculés sont de 138 minutes pour *C. maculatus*, 228 minutes pour *P. truncatus* et inférieur à 90 minutes pour *S. cerealella*.

Sur la base des essais biologiques, les molécules responsables de l'activité observée ont été recherchées et identifiées à l'aide de techniques chromatographiques et **spectrométriques**. L'étude de la fraction volatile extraite des feuilles a permis de mettre en **évidence** l'isothiocyanate de **méthyle (MITC)**, produit par **dégradation** enzymatique d'un précurseur : la glucocapparine. La recherche et l'identification de cette **dernière** dans les feuilles et les fruits de *B. senegalensis* ainsi que l'analyse approfondie **d'extraits acétoniques** ont permis de corroborer les premières **interprétations**. L'analyse "Head Space" de broyats de **feuilles, menée en parallèle** avec des tests biologiques en conditions **contrôlées**, ont fourni la preuve finale de la libération de MITC et de son efficacité dans le **système** étudié. Le dosage de la glucocapparine dans les feuilles et les fruits **d'échantillons** de *B. senegalensis*, **prélevés** de huit **localités** du **Sénégal**, indique **d'importantes** variations d'une part entre les feuilles et les fruits, d'autre part entre les **localités** considérées. Par ailleurs, il apparaît que les **échantillons** de *B. senegalensis* **récoltés** au Nord (**régions** de Louga et de Saint-Louis) sont en moyenne plus riches en glucocapparine que ceux prélevés à l'Ouest et au **Centre-Ouest** (**régions** de Dakar et de **Thiès**) du Sénégal.

Nous avons étudié les relations dose-mortalité et calculé les **CL₅₀** des feuilles, des fruits et du **MITC** pur, sur *C. maculatus*, *S. zeamais* et *T. castaneum*. Les valeurs obtenues (exprimées en g de **matière végétale** par litre de volume) sont de 0,42 à **1,75 g/l** pour les fruits ; 1 à **4,23 g/l** pour les feuilles ; **0,73 à 2,38 mg/l** pour le MITC pur.

L'étude de l'effet des feuilles et des fruits de *B. senegalensis* sur la ponte des femelles de *C. maculatus* montre une réduction significative des oeufs déposés sur les graines de **niébé** à la concentration de 1 à 2 **g/l** et une inhibition totale de la ponte à partir de la concentration de 4 **g/l**.

Dans la perspective de combiner l'utilisation de *B. senegalensis* avec le stockage en milieu **hermétique**, nous avons suivi **l'évolution** des concentrations en **oxygène (O₂)** et en dioxyde de carbone (**CO₂**) dans des bocal **hermétiques** et étudié l'effet de durées de stockage croissantes sur le développement d'adultes et de stades **préimaginaux** de *C. maculatus*. Dans les conditions **expérimentales considérées**, une évolution plus ou moins rapide (hausse de la concentration en CO₂ et baisse de la concentration en O₂) survient dans un délai de 1 à 7 jours, en fonction du stade et du niveau **d'infestation**. Le stockage hermétique devient efficace à partir de quatre à cinq jours où il induit un retard de la **durée** de développement de six à neuf jours et réduit le taux d'émergence de la progéniture de *C. maculatus* de 93 à 100 % par rapport à des graines stockées dans des bocal non hermétiques.

La combinaison de l'utilisation de *B. senegalensis* avec le stockage en milieu hermétique a permis de contrôler parfaitement l'infestation et les dégâts de *C. maculatus* sur des graines de niébé. En effet, l'application de 2,4 g de fruits broyés par litre a permis d'inhiber totalement la descendance d'une nouvelle génération de *C. maculatus* et d'assurer une conservation parfaite de graines de niébé artificiellement infestées.

L'ensemble des études réalisées au laboratoire et sur le terrain permettent d'expliquer l'infestation initiale, les fluctuations saisonnières des populations et de développer des méthodes de lutte alternatives contre les principaux insectes ravageurs des denrées entreposées au Sénégal.

Les stratégies proposées à la suite de ce travail pluridisciplinaire sont fondées sur l'observation préalable des pratiques quotidiennes, des moyens et des réalités rurales sénégalaises. Elles s'inscrivent dans le cadre d'une nouvelle conception du contrôle des ravageurs des récoltes vivrières dans les pays en voie de développement. En effet, il importe de remplacer l'utilisation des produits synthétiques coûteux et dangereux par des méthodes alternatives basées sur la valorisation des ressources humaines et végétales locales.

Les résultats obtenus ouvrent des perspectives d'application à l'échelle villageoise et de recherches sur les nouvelles substances biocides d'origine végétale. Toutefois, il convient de signaler quelques limitations au niveau de *C. occidentalis* et de *S. longepedunculata*.

Concernant *C. occidentalis*, sa faible teneur en huile risque de limiter son utilisation intensive à l'échelle villageoise. Il serait donc intéressant d'approfondir l'étude de l'activité biologique d'autres parties de cette plante et dans ce cadre, d'évaluer l'effet fumigant de feuilles fraîches produites en régions tropicales.

Quant à *S. longepedunculata*, le prélèvement de ses racines pourrait réduire sa croissance, voire tuer les arbres à plus ou moins longue échéance. L'utilisation de cette plante doit donc être accompagnée par la mise en place d'un programme de reboisement.

Pour toutes ces raisons, les perspectives futures de recherches fondamentales et appliquées devraient être axées sur *B. senegalensis*. Sur le plan pratique, il serait intéressant de tester en milieu villageois sénégalais les résultats obtenus au laboratoire sur cette plante. Sur le plan fondamental, il nous semble utile d'élucider le mode d'action des principes actifs mis en évidence. Dans une optique plus large, il serait hautement souhaitable d'appliquer notre démarche à l'étude des plantes apparentées à *B. senegalensis* ou des espèces végétales africaines connues pour leurs propriétés insecticides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBOTT, W.S. 1925 • A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* **18** : 265-267.
- ABDEL-KADER, M.H.K., WEBSTER, G.R.B., LOSCHIAVO, S.R. & WATTERS, F.L. 1980 • Low temperature degradation of malathion in stored wheat. *J. Econ. Entomol.*, **73** : 654-656.
- ADJADI, O., SINGH, B.B. & SINGH, S.R. 1985 • Inheritance of bruchid resistance in cowpea *Crop Sci.*, **25** : 740-742.
- AHMED, M. 1990 • Irradiation disinfestation of stored foods. In : Fleurat-Lessard, F. & Ducom, P. "*Proc. 5th int. work. conf. on stored-prod. prot.* (Bordeaux, sept. 9-14, 1990), vol. II". Paris, 1105-1117.
- AHMED, S. 1984 • Use of the neem materials by Indo-pakistani farmers : some observations. In : R.C. Saxena and S. Ahmed, ed., *Proc. Res. Planning Workshop., Botanical Pest control Project.* Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippine.
- AHMED, S. & GRAINGE, M., 1985 • The use of indigenous plant resources in rural development : Potential of the neem tree. *Int. J. Dev. Technol.*, **3** : 123-130.
- AHMED, S. & KOPPEL, B. 1985 - Plant extracts for pest control: village-level processing and use by limited-resource farmers. *Am. Assoc. Adv. Sci., annual meeting*, Los-Angeles, CA, May 26-31.
- AHMED, S. & GRAINGE, M.. 1986 • Potential of the neem tree (*Azadirachta indica*) for pest control and rural development. *Econ. Bot.*, **40** (2) : 201-209.
- AKE-ASSI, L. 1983 • Quelques vertus médicinales de *Cassia occidentalis* L. (Césalpiniacées) en basse Côte d'Ivoire. *Bothalia* **14** (3-4) : 617-620.
- AKINGBOHUNGDE, A.E. 1976 • A note on the relative susceptibility of unshelled cowpeas to the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus* (Fabr.)) (Coleoptera : Bruchidae). *Trop. Grain Legume Bull.*, **5** : 11-13.
- ALZOUMA, I & BOUBACAR, M. 1985. • Effet des feuilles vertes de *Boscia senegalensis* (Capparidaceae) sur certains aspects de la biologie de *Bruchidius atrolineatus* et de *Callosobruchus maculatus*. *Comm. colloque sur les légumineuses alimentaires*. Niamey (Niger).

- ANONYME, 1987. Fiche **espèce** : *Cassia occidentalis* L. (Caesalpinaceae). *Méd. tradit. pharm.*, **1** (2) : 143-170.
- ANONYME, 1990 . **Règlement CEE N°1864/90** : Graines oléagineuses • **Détermination** des glucosinolates par chromatographie liquide à haute performance. *J. Off. Communautés européennes*, n° L170 , **27**.
- ANTON, R. & DUQUENOIS, P. 1968 • Contribution à l'étude chimique de *Cassia occidentalis* L. *Ann. Pharm. Fr.*, **26** : 673-680.
- APPELQVIST, L.A. & JOSEFSSON, E. 1967 • Method for quantitative determination of isothiocyanates and **oxazolidinethiones** in digests of **seed meals** of rape and tumip rape. *J. Sci. Food Agric.*, **18**: 510.
- APPERT A & DEUSE J. P-L. 1982 • Les ravageurs descultures **vivrières** et **marâchères** sous les tropiques. *Maisonneuse & Larose*, Paris, 420p.
- APPERT, J. 1946 • Faune parasitaire du **niébé** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. = *Vigna catjang* (burm.) Walp.) en République du **Sénégal**. *Agron. Trop.*, **19** : 788-799.
- ARIGABU, S.O. & DON-PEDRO, S.G. 1971. studies on some **pharmaceutical** properties of *azadirachta indica* or baba yaro. *J. Pharm. Pharmaceut. Sci.*, **114** : 181-183.
- AYERTEY, J.N. 1975 • Egg laying by **unmated** females of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera : Gelechiidae). *J. Stored Prod. Res.*, **11** : 211-215.
- BAUMER, M. 1981. • Rôle de *Boscia senegalensis* (PERS.) LAM. dans l'économie rurale africaine : sa consommation par le **bétail**. *Rev. Elev. Méd. vét. des pays tropicaux* **34** (3) : 325-328.
- BECKER, B. 1983. • The contribution of wild plants to **human nutrition** in the Ferlo (Northern Senegal). *Agroforestry Syst.*, **1** : 257-267.
- BECKER, B. 1986 • Wild plants for **human nutrition** in the Sahelian zone. *J. Arid Environ.*, **11** : 61-64.
- BELL, C.H. 1976 • The **tolerance** of developmental stages of four stored-product moths to phosphine. *J. Stored Prod. Res.*, **12** : 77-86.
- BELL, C.H., HOLE, B.D.& EVANS, P.H. 1977 • The **occurrence** of resistance to phosphine in adults and egg **stages** of **strains** of *Rhizopertha dominica*. *J. Stored Prod. Res.*, **13** : 91-94.

- BENNER, J.P. 1993 • Pesticidal Compounds from Higher Plants. *Pestic. Sci.*, 39 : 95-102.
- BERHAUT, J. 1967 • Flore illustrée du **Sénégal**. Clairafrique, Dakar, 485 p.
- BERNUS, E., 1979 • L'arbre et le nomade. *J. Agric. Trad. Rot. Appl.*, 26 (2) : 103-128.
- BERTHEAU, Y., DANCETTE, C. & GANRY, F. 1981 • Le neem. *Doc. polycopie* Institut **Sénégalais** de Recherches Agricoles (CNRA Bambey), 6p.
- BILLE, J.C. ET POUPON, H. 1972 • Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : description de la végétation. *La Terre et la Vie*, 26 : 351-365.
- BJÖRKMAN, R. 1976 • Plant myrosinases. In : *Vanghom J.G., Maclead A.J., Jones, B.M.G.* The biology and chemistry of the Cruciferae, *Academic Press*, London, 191-205.
- BLAU, P.A., FEENY, P., CONTARDO, L., & ROBSON, D.S. 1978 - Allylglucosinolate and herbivorous Caterpillars : a contrast in toxicity and tolerance. *Sci.*, 200 : 1296-1298.
- BOND, E.J., MONRO, H.A.U. & BUCKLAND, C.T. 1967 - The influence of oxygen on the toxicity of fumigants to *Sitophilus granarius*. *J. Stored Prod. Res.*, 3 : 289-294.
- BOND, E.J. 1990 • La fumigation en tant que traitement insecticide. *Etude FAO Production Végétale et Protection des Plantes*, 54.448 p.
- BOOKER, R.H. 1967 • Observations on three bruchids associated with cowpea in Northern Nigeria. *J. Stored Prod. Res.*, 3 : 1-15.
- BOOTH, F.E.M., WICKENS, G.E. 1988 • Non-timber uses of selected arid zone trees and shrubs in Africa. F.A.O.-Conservation-Guide, 19, 176 p.
- BORAH, B. & CHALAL, B.S. 1979 • Development of resistance in *Trogoderma granarium* EVERTS to phosphine in the Punjab. *FAO Plant Prot. Bull.*, 27 : 77-80.
- BOUGHADAD, A., GILLON, Y. & GAGNEPAIN, C. 1987 • Effect of *Arachis hypogea* seed fats on the larval development of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, 23 (2) : 99-103.

- BROUGHTON, H.B., JONES, P.S., LEY, S.V., MORGAN, E.D., ALEXANDRA SLAVIN, M.Z. & WILLIAMS, D.G. 1987 - The chemical structure of Azadiichnin. In : Schmutterer, H. & Ascher, K.R.S. "Natural pesticides from the neem tree and other tropical plants. Proc. 3rd ht. neem conf., Nairobi (Kenya), 1986 : 103-110.
- BURKILL, H.M. 1985 - The usefull plants of West Tropical Africa. Vol. 1 Families A-D. Kew, Royal Botanic Gardens: 3 17-318.
- BUSVINE, J.R. 1981 - Methodes recommandees pour la mesure de la résistance des ravageurs aux pesticides. Etude FAO : Production Végétale et Protection des Plantes n° 21.
- BUTTENWORTH, J.H., MORGAN, E.D. & PERCY, G.R. 1972 - The structure of Azadirachtin ; the fonctional groups. J. chem. Soc. Perkin trans. 1 : 2445-2450.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. 1964 - Oviposition and length of adult life in *Caryedon gonagra* F. (Coléoptère Bruchidae). Bull. Entomol. Res., 55 (4) : 698-707.
- CANDARDEL, H & STOCKEL, J. 1972 - Recherches par élevage en insectarium et par piégeage sexuel sur le cycle annuel de l'alucite des céréales *Sitotroga cerealella* Oliv. (Lep. Gelechiidae) et sur le rôle des cultures de blé et de maïs dans le maintien de l'espèce en Aquitaine. Ann. Zool. Anim., 4 (3) : 311-328.
- CASWELL, P.F. 1960 - Observations on an abnormal form of *Caflosobruchus maculatus* (F.). Bull. Ent. Res., 50 : 671-680.
- CASWELL, G.H. 1961 - The infestation of cowpeas in the western region of Nigeria. Trop. Sci., 3 : 154-158.
- CASWELL, G.H. 1984 - The value of the pod in protecting cowpea seed from attack by bruchid beetles. Samaru J. Agric. Res., 2 (1-2) : 49-55.
- CHAKRABORTY, D.P & MATHEW, G. 1972 - The effect of host plant nutrition on susceptibility of seeds of several exotic wheat varieties to *Sitophilus oryzae* (L.). Bull. Grain Tech. 10 : 116-119.
- CHAMP, B.R. & DYTE, C.E. 1976 - Rapport de l'enquête mondiale de la FAO sur les insectes des céréales entreposées et leur sensibilité aux insecticides. Collection

- CILSS, 1984 • Première liste sur l'inventaire des méthodes traditionnelles de lutte contre les ennemis des principales cultures **vivrières** au Sahel recensées dans cinq pays membres du CILSS (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Gambie). Projet lutte **intégrée** • **Direction régionale** • **Ouagadougou**.
- CILSS. 1992 • Sahel PV-INFO. **Bull. In. Prot. Végét. UCTR/PV**, **48** : 25.
- CIMMYT. 1971 • International Maize and Wheat Improvement Center **Annu. Rep. 1970-71**. Mexico 6, D.F., Mexico. pp. 87-91.
- CLOSSAIS-BESNARD, N. 1991 • Aspects analytiques et physiologiques de l'accumulation des glucosinolates chez le colza (*Brassica napus* L.). Thèse **de doctorat Université de Rennes** 1. 110 p.
- CMELICK, S.H.W & LEY, H. 1984 • Some constituents from the root bark of the violet tree (*Securidaca longepedunculata* Fres.). **Trans. Zimbabwe Sci. Assoc.** **62** (5) : 28-32.
- COULIBALY, A.D. 1993 • **Caractérisation** chimique de plantes tropicales. Etude de leur **activité** biologique **sur** les insectes des denrées stockées. **Travail de fin d'études**. F.S.A.Gx. 89 p.
- CREDLAND, P.F. 1992 • The structure of bruchid eggs **may** explain the ovicidal effect of **oils**. **J. Stored Prod. Res.**, **28** (1) : 1-9.
- CWIKOWSKI, M. 1987 • Le dosage des glucosinolates dans les **régions** de colza. **Travail de fin d'études**, F.S.A.Gx. 106 p.
- DALZIEL, J.M. 1948 • The useful Plants of West Tropical Africa. **The crown Agents for the colonies**, London. 612pp.
- DANIEL, S.H. & SMITH, R.H. 1990 • The repellent effect of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) oil and its residual **efficacy** against **Callosobruchus maculatus** (Coleoptera : Bruchidae) on cowpea. In : Fleurat-Lessard, F. & Ducom, P. "**Proc. 5th int. work. conf. on Stored-Prod. Prot.** (Bordeaux, sept. 9-14, 1990), vol. III". Paris :1589-1597.
- DE LOECHER, S. 1982 • Protection des graines emmagasinées de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Influence de certains facteurs climatiques et d'extraits de feuilles de *Azadirachta indica* A. Juss. sur la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* (F.)). **Travail de fin d'études**. F.S.A.Gx. 141 p.
- DECELLE, J. 1966 • *Bruchus serratus* OL., 1790, espèce-type du genre *Caryedon* SCHONHERR, 1823. **Rev. Zool. Bot. Afr.**, 74 (1-2) : 169-173.

- DECELLE, J. 1985 • Les coléoptères Bruchidae nuisibles aux légumineuses alimentaires cultivées dans la région afrotropicale. Comm. **Colloque sur les légumineuses alimentaires en Afrique**. Niamey, Niger. 10 p.
- DELAUDE, C. 1992 • Les polygalaceae et leurs saponines. **Bull. Soc. Roy. Sci. Liège** 61 (3-4) : 245-288.
- DELAUDE, C. 1993 • Introduction à l'ethnobotanique. **Bull. Soc. Roy. Sci. Liège** 62 (1-2) : 3-92.
- DELAVEAU, P., KOUDOGBO, B., & POUSSET, J-L. 1973 • Alcaloïdes chez les Capparidaceae. **Phytochem.**, 12 : 2893-2895.
- DESMARCHELIER, J.M. 1978 • Loss of fenitrothion on grains in storage. **Pestic. Sci.**, 9: 33-38.
- DESMARCHELIER, J., BENGSTON, M. & CONNELL, M. 1981 • Extensive pilot use of the grains protectant combinations fenitrothion plus bioresmethrin and pirimiphos-methyl plus bioresmethrin. **Pestic. Sci.**, 12 : 365-374.
- DIATTA, F. 1991 • La gestion des pesticides au Sénégal.. **Direction de la Protection des végétaux, Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique**, Sénégal. 22 p.
- DIONGUE, I. 1984 • Etude de la protection des graines de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) contre *Callosobruchus maculatus* (F.) au moyen d'huile d'arachide enrichie en extraits de nime (*Azadirachta indica* A. Juss.). **Travail de fin d'études**. F.S.A.Gx. 102 p.
- DOBIE, P. 1981 - The use of resistant varieties of cowpeas (*Vigna unguiculata*) to reduce losses due to post-harvest attack by *Callosobruchus maculatus*. **Ser. Entomol.**, 19 : 185-192.
- DON-PEDRO, K.N. 1985 • Toxicity of some citrus peels to *Dermestes maculatus* Deg. and *Callosobruchus maculatus* (F.). **J. Stored Prod. Res.**, 21 (1) : 31-34.
- DON-PEDRO, K.N. 1989a • Effects of fixed vegetable oils on oviposition and adult mortality of *Callosobruchus maculatus* (F.) on cowpea. **Int. Pest Control**, 31 : 34-37.
- DON-PEDRO, K.N. 1989b • Mode of action of fixed oils against eggs of *Callosobruchus maculatus* (F.). **Pestic. Sci.**, 26.: 107-115.

- DON-PEDRO, KN. 1990 • **Insecticidal** activity of fatty **acid** constituents of **fixed** vegetable **oils** against *Callosobruchus maculatus* (F.) on cowpea. *Pestic. Sci.*, 30 : 295-302.
- DUCOM, P. 1987 • Dernières tendances dans la protection des grains. *Phytoma-Défense des cultures*, 385 : 38-39.
- DUGUET, J.S. ET GIN XIN, W. 1986. • Assessment of activity of **deltamethrin** against *Callosobruchus maculatus* L. and *Callosobruchus chinensis* FAB. (Bruchidae). *Int. Pest Control*, 28 : 36-41.
- DUGUET, J.S. 1989. • **Intérêt** du **mélange deltaméthrine + organophosphoré** pour la protection des **céréales** stockées dans les pays tropicaux. **Céréales en régions chaudes**. In : *Aupelf-Uref, John Libbey Eurotext*, Paris : 123-129.
- DUMAS, T. 1980 • Phosphine sorption and **desorption** by stored wheat and com. *J. Agric. Food Chem.*, 27 : 337-339.
- ECHENDU, T.N.C. 1991 • Ginger, **cashew** and neem as surface **protectants** of cowpeas against infestation and **damage** by *Callosobruchus maculatus* (Fab.). *Trop. Sci.*, 31 : 209-211.
- EGWUATU, R.I. 1987 • Current **status** of conventional insecticides in the management of stored **Product insect** Pests in the tropics. *Znsect. Sci. Appl.*, 8 (4/5/6) : 695-701.
- ELBADRY, E.A. & AHMED, M.Y.Y. 1975 • **Effects** of gamma radiation on the **egg stage** of **southern** cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* F. *Z. angew. Entomol.*, 79 : 323-328.
- ERMEL, K., PAHLICH, E. & SCHMUTTERER, H. 1987 • Azadirachtin content of neem kernels from different geographical locations and its **dependance** on temperature, relative humidity and light. *Proc. 3 rd Int. neem con.*, Nairobi (Kenya), 1986 : 171-184.
- EVANS, N.J. 1985. • The effectiveness of various insecticides on some **resistant** beetle **pests** of stored **products** from Uganda. *J. stored Prod. Res.*, 21 : 105-109.
- FAO, 1988 • *Annuaire Production*. 42 : 66.
- FEENY, P.P. 1976 • Plant **apparency** and chemical defense. **Recent adv. Phytochem.**, *Plenum Press*, N.Y and London, 10 : 1-40.
- FLNNEY, M.A. 1964 • **Probit analysis**. *Cambridge University Press*, 318 p.

- GAHUKAR, R.T. 1976 • Incidence **économique** des principaux insectes ravageurs des **denrées** stockées en Inde. *Bull. Tech. Inf.* (306) : 35-39.
- GANESALINGHAM, V.K. & KRISHNARAJAH, S.R. 1979 • Infestation of *Sitotroga cerealella* (Olivier) under **field** conditions and storages in Northern Sri Lanka. *Ceylan J. Sci. (Bio Sci.)*, 13 : (1-2) : 159-165.
- GANESALINGHAM, V.K. 1987 • Use of the neem plant in Sri Lanka at farmer's **level**. In : Schmitterer, H. & Ascher, K.R.S. "Natural pesticides from the neem tree and other tropical plants. Proc. 3rd Int. neem conf.", Nairobi (Kenya), 1986 : 95-100.
- GATEHOUSE, A.M.R., FENTON, K.A., JEPSON, I. & PAVEY, D.J. 1986 • The effects of **α -amylase** inhibitors on insect storage **pests** : inhibition of α -amylase in vitro and effects on development in vivo. *J. Sci. Food Agric.*, 37 : 727-734.
- GATEHOUSE, A.M.R., GATEHOUSE, J.A., DOBIE, P., KILMINSTER, A.M. & BOULTER, D. 1979 • Biochemical basis of insect **resistance** in *Vigna unguiculata*. *J. Sci. Food Agric.*, 30 : 948-958.
- GATEHOUSE, A.M.R. & BOULTER, D. 1983 • Assessment of the antimetabolic effects of trypsin inhibitors from cowpea (*Vigna unguiculata*) and other legumes on development of the bruchid beetle *Callosobruchus maculatus*. *J. Sci. Food Agric.*, 34 : 345-350.
- GEORGHIOU, P.G. 1990 • Overview of Insecticide **Resistance**. In : M.B. Green ; H.M. Lebaron & W.K. Moberg [eds.] *ACS Symposium Series 421* : 19-41.
- GERMAIN, P. & THIAM, A. 1983 • Les pesticides au **Sénégal** : une menace? ENDA : *Série Etudes & Recherches 83 (83)* :44.
- GIESELMANN, G., HUTHMACHER, K., KLENK, H., ROMANOWSKI, F. 1990 • Methylisothiocyanate- Vom Naturprodukt zur technischen Syntheschemikalie. *Chemiker-Zeitung (7-8)* : 215-224.
- GIGA, D.P. & SMITH, R.H. 1987 • Egg production and development of *Callosobruchus rhodesianus* (Pic) and *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae) on several commodities at two different temperatures. *J. Stored Prod. Res.*, 23 (1) : 9-15.
- GOLOB, P. & WEBLEY, D.P., 1980 • The use of plants and minerals as **traditional protectants** of stored products. *Trop. Prod. Inst. Rep. G 138*, Vi. 32 pp.

- GOUGH, M.C & KING, P.E., 1980 • Moisture content/Relative humidity equilibria of some Tropical cereal grain. Trop. *Stored Prod. Inf.*, **39** : 13-17.
- GRAINGE, M., AHMED, S., MITCHEL, W.C. & HYLIN, J.W., 1985 • Plant species reportedly possessing pest-control properties - *An EWC/UH Database*. Resource Systems Institute, East-West Center, Honolulu, **249 p.**
- GUPTA, S.C, ASNANI, V.L. & KHARE, B.P. 1970. Effect of the opaque-2 gene in maize (*Zea mays* L) on the extent of infestation by *Sitophilus oryzae* (L.). *J. Stored Prod. Res.*, **6** : 191-194.
- HAUBRUGE, E., SCHIFFERS, B.C.; VERSTRAETEN, C. & FRASELLE, J. 1987 • Susceptibilité de *Prostephanus truncatus* à l'égard de deux pyréthrinoïdes. *Annales de l'A.N.P.P.*, Vol. III/III, **6** : 497-505.
- HEKAL, A.M. & EL-KADY, E.A. 1987 • Effect of gamma radiation on the level of infestation with *Cullosobruchus maculatus* (F.) in stored cowpea seeds. *Ann. Agric. Sci., Egypt.*, **32 (3)** : 1689-1698.
- HENON, Y. 1983 • Le traitement ionisant des produits *agro-alimentaires* : une technique pour les années 80. *Ind. Aliment. Agric.*, **101** : 45-52
- HEONG, K.L. 1981 • Searching preference of the parasitoid, *Anisopteromalus calandrae* (Howard) for different stages of the host, *Cullosobruchus maculatus* (F.) in the laboratory. *Res. Pop. Ecol.*, **23** : 177-191.
- HIGGINS, J.M, WALKER, R.H. & WHITWELL, T. 1985. Coffee senna (*Cassia occidentalis*) competition with cotton (*Gossypium hirsutum*). *Weed Sci.*, **34** : 52-56.
- HINDMARSH, P.S, TYLER, P.S. & WEBLEY, D.J. 1978 • Conserving grain on the small farm in the tropics. *Outlook Agric.*, **9 (5)** : 214-219.
- HOWE, R.W. & CURRIE, J.E. 1964 • Some laboratory observations on the rates of development, mortality and oviposition of several Bruchidae breeding on stored pulses. *Bull. Ent. Res.*, **55** : 437-476.
- HUBER, R.W. 1990 • Zero tolerance insect infestation now! In Fleurat-Lessard, F. & Ducom, P. "*Proc. 5th int. work. conf. on stored-prod. prot.* (Bordeaux, sept. 9-14, 1990), vol. I". Paris, 547-552.

- HUBRECHT, F., DELAUDE, C., GILSON, J.-C. & GASPAR, CH. 1989 • Activité de plusieurs saponines extraites de plantes originaires du Zaïre à l'égard de *Spodoptera frugiperda* J.E. SMITH. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent.*, **54/3a** : 937-944.
- HUIGNARD, J. 1985 • Importance des pertes dues aux insectes ravageurs des graines : problèmes posés par la conservation des légumineuses alimentaires sources de protéines végétales. *Cah. Nutr. Diét.* **XX (3)** : 193-199.
- HUIS, A. VAN 1991 • Biological methods of bruchid control in the tropics : a review. *Znsect Sci. Applic.*, **12** (1-2-3) : 87-102.
- HUSSEIN, M.H. & ABDEL-AAL, Y.A.I. 1982 • Toxicity of some compounds against the cowpea seed beetle *Callosobruchus maculatus* (Fab.) Coleoptera ; Bruchidae. *Int. Pest Control*, **24** : 12-16.
- IVBIJARO, M.F. 1983 • Preservation of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, with the neem seed, *Azadirachta indica* A. Juss. *Prot. Ecol.*, **5** : 177-182.
- IVBIJARO, M.F. 1990 • The efficacy of seed oils *Azadirachta indica* A. Juss and *Piper guineense* Schum and Thonn on the control of *Callosobruchus maculatus* (F.). *Znsect Sci. Appl.*, **11** (2) : 149-152.
- JACKAI, L.E.N. & DAOUST, R.A., 1986 • Insect pests of cowpeas. *Ann. Rev. Entomol.* **31** : 95-119.
- JACOBSON, M. 1983 • Control of stored Product insects with phytochemicals. In : *Proc. 3rd. Int. Working Conf. on Stored Prod. Ent.* Oct. 23-28 Manhattan, Kansas, USA.
- JANZEN, D.H. 1977 • How southern cowpea weevil larvae (Bruchidae : *Callosobruchus maculatus*) die on nonhost seeds. *Ecology*, **58 (4)** : 921-927.
- JOHNSON, C.T. 1987 • Taxonomy of the African species of *Securidaca longepedunculata* (Polygalaceae) *South Afr. J. Bot.*, **53** (1) : 5-11.
- JOTWANI, M.G. & SIRCAR, P. 1965 - Neem seed as protectant against stored grain pests infesting wheat seed. *Indian J. Ent.*, **27** : 160-164.
- JOTWANI, M.G. & SIRCAR, P. 1967 - Neem seed as a protectant against bruchid *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) infesting some leguminous seeds. *Indian J. Ent.*, **29 (1)** : 21-24.

- JOTWANI, M.G. & SRIVASTAVA, K.P. 1971 • Neem : **Insecticide** of the future. 1 : As a **protectant** against stored-grain pests. *Pesticides*, **15** : 40-47.
- JOTWANI, M.G. 1983 • Neem in **insect** control. In : *Neem in Agriculture*. Indian Agric. Research Institute, New Delhi : X3-40.
- KAPILA, R. & AGARWAL, H.C. 1990 • Biology of an egg parasite of *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera : Bruchidae). In Fleurat-Lessard, F. & Ducom, P. "*Proc. 5th int. work. conf. on stored-prod. prot.* (Bordeaux, sept 9-14, 1990), vol. II". Paris, 1265-1273.
- KASHI, K.P. & BOND, E.J. 1975 • The toxic action of phosphine : role of **carbon** dioxide on the toxicity of phosphine to *Sitophilus granarius* L. and *Tribolium confusum* Du Val. *J. Stored Prod. Res.*, **11** : 9-15.
- KEAY, R.W.J. 1958 -Flora of West tropical **Africa**. Second *ed.*
- KERHARO, J. & ADAM, J.G. 1974 • La **pharmacopée** sénégalaise traditionnelle. Plantes **médicinales** et toxiques. Ed, Vigot Frère. Paris.
- KITCH, L.W., SHADE, R.E. & MURDOCK, L.L. 1991 • Resistance to the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*) larva in pods of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Entomol. Exp. Appl.*, **60** : 182-192.
- KJAER A., SCHUTTER A., DELAVEAU P. & KOUDOGBO B. 1973 • Glucosinolates in *Bosciu senegalensis*. *Phytochem.* **12** : 725-726.
- KJAER, A. 1974 • The natural distribution of glucosinolates : a uniform group of **sulfur-containing** glycosides. In : Bendz G. and Santesson J. *Chemistry in botanical classification*. Academic Press, London : 229-234.
- KRANZ, J., SCHMUTTERER, H AND KOCH, W. 1977 • Diseases Pest and Weeds in tropical **crops**. V. Parey, Berlin. 666 p.
- KRAUS, W., BOKEL, M., CRAMER, R., KLENK, A. & POHNL, H. 1985. Constituents of neem and related species. A revised structure of Azadirachtine. *Commun. Synth. Nat. Prod. Biotechnol.*, **4** : 446-449.
- LABEYRIE, V. 1981 • Vaincre la carence **protéique** par le développement des **légumineuses** alimentaires et la protection de leurs récoltes contre les bruches. *Food Nutr. Bull.*, **3** (1) : 24-38.
- LAWANI, S.M. 1989 • Le **niébé**, la biotechnologie et la lutte contre les ravageurs. *Echo de l'ITA*, **9** (2) : 3-6.

- LERIN, J. 1980. Influence des substances **allélochimiques** des **crucifères** sur les **insectes**. *Acta oecologia. Oecol. Gener.*, **1 (3)** : 215-235.
- LEVIN, D.A. & YORK, B.M. 1978 • The **toxicity** of plant alkaloids : an ecogeographic perspective. *Biochem. Syst. Ecol.*, **6** : 61-76.
- LIENARD, V. 1992 • Etude des relations Plantes-Insectes : Activité biologique de **Cassia occidentalis** L. à l'égard de **Callosobruchus maculatus** F. et de **Caryedon pallidus** Oliv. (Coleoptera : Bruchidae), ravageurs des graines de légumineuses. *Travail de fin d'études, F.S.A.Gx.* 98 p.
- LINDGREN, D.L. & VINCENT, L.E. 1962 • Fumigation of commodities for insect control. *Adv. Pest Control Res.*, **5** : 85-152.
- LOGNAY, G., MARLIER, M., SEVERIN, M., HAUBRUGE, E., GIBON, V. & TRAVEJO, E. 1991 • On the characterisation of some Terpenes from **Renealmia alpinia** ROTT. 5Maas) Oleoresin. *Flavor and Fragrance J.*, **6** : 87-91.
- LOGNAY, G., MARLIER, M., SECK, D., HAUBRUGE, E., WATHELET, J.-P., COULIBALY, A.D., GASPARD, C. & SEVERIN, M. 1993 • Détection des **molécules** responsables de l'**activité** biocide des feuilles de **Boscia senegalensis** (Pers.) Lam. ex Poir par échantillonnage d'espace de tête et **spectrométrie** de masse couplée à la chromatographie en phase gazeuse. *Bull. Rech. Agron. Gembloux (sous presse)*.
- MAC LAFFERTY, F.W. 1980 • Interpretation of mass spectra, **3rd Edition**, University science Books, Mill Valley, California. p 69.
- MAHAUT, T. 1990 • Etude de la protection de froment emmagasiné contre **Sitophilus oryzae** (L.) (Coleoptera : Curculionidae) par diverses répartitions de **chlorpyrifos-méthyle**. travail de fin d'études F.S.A.Gx. 86 p.
- MAPONOKO, A.M. 1986 • Etude de la variabilité du **système** racinaire du **niébé** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) et son effet sur la **tolérance** à la sécheresse. *Gembloux, Fac. Sci. Agron. Travail de fin d'études.* 97 pp.
- MASSEY, J.H. & SOWELL, G.J. 1969 • Effects of spacing 'arrangement and anthracnose on **Cassia occidentalis** L.. *Agron. J.*, **61** : 749-750.
- MAYDELL, H.J. 1983 • Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations. Eschbom, Germany, G.T.Z.
- MCEWEN, F.L. 1978 • Food production- The challenge of pesticides. *Biosci.*, **28** : 773-778.

- MESSINA, F.J. & RENWICK, J.A.A. 1983 • Effectiveness of oils in protecting stored cowpeas from the cowpea weevil (Coleoptem : Bruchidae). *J. Econ. Entomol.*, **76** (3) : 634-636.
- METZGER, R. & TRIER, K.H. 1973 • Untersuchungen über Attraktiv-und Repellenteffekte verschiedener Substanzen auf die Riibenfliege *Pegomia betae* Curtis. *Arch. Phytopathol. Pflanzensch.*, **9** : 325-333.
- MILLS, R.B. & WILBUR, D.A. 1967 • Radiographic studies of the Angoumois Grain Moth development in wheat, corn and sorghum kemels. *J. Econ. Entomol.*, **60** (3) : 671-677.
- MILLS, R.B. 1965 • Early germ feeding and larval development of the Angoumois Grain Moth. *J. Econ. Entomol.*, **58** (2) : 220-223.
- MILLS, R.B. 1976. Host resistance to Stored-Product insects-II. Proceedings **Joint US-JAPAN Sem. on Stored-Product Insects**. Jan. : 5-8, 1976. Manhattan, Kansas.
- MLRALLES, J. & GAYDOU, EM. 1986. Composition en acides gras des huiles extraites des graines de trois *Cassia* (Caesalpinacées) d'origine sénégalaise. *Rev. Fr. Corps gras*, **10** : 381-384.
- MONGE, J.P. & OUEDRAOGO, A.P. 1990. Déterminisme du polymorphisme imaginal chez *Callosobruchus maculatus* (Coléoptère, Bruchidae). In "Régulation des cycles saisonniers chez les invertébrés", Dourdan (France), 20-22 février 1990. *Les colloques de l'INRA (52)* : 123-126.
- MORGAN, E.D. 1982 - Strategy in the isolation of insecticide substances from plants. *Proc. 1st Int. neem Con.*, Rottach-Egem, 1980 : 43-52.
- N'DOYE, M. & GAHUKAR, R.T. 1987 • Les insectes ravageurs du mil en Afrique de l'Ouest et les moyens de lutte. *Proceedings International Pearl Millet Workshop*, 7-11 avril 1986, ICRISAT Center, INDIA : 183-194.
- NAIK, R.L. & DUMBRE, R.B. 1984 • Effect of some vegetable oils used in protecting stored cowpea on biology of pulse beetle, *Callosobruchus maculatus* (FABR.) (Coleoptera : Bruchidae). *Bull. Grain Technol.*, **22** (1) : 25-32.
- NAKAKITA, H. & WINKS, R.G. 1981 • Phosphine resistance in immature stages of laboratory selected strain of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae). *J. stored Prod. Res.*, **17** : 43-52.
- NAULT, L.R. & STYER, W.E. 1972. Effect of sinigrin on host selection by aphids. *Ent. Exp. Appl.*, **15** : 423-437.

- NAVARRO, S., DONAHAYE, E., RINDNER, M. & AZRIELLI, A. 1990 - Airtight storage of grain in plastic structures. *Hassadeh Quart.*, 1 (2) : 85-88.
- N'DIAYE, S. 1991. La bruche de l'arachide dans un **écosystème** du centre-ouest du Sénégal : contribution à l'étude de la contamination en plein champ et dans les stocks d'arachide (*Arachis hypogea* L.) par *Caryedon serratus* (01.) (Coleoptera, Bruchidae) ; rôle des légumineuses hôtes sauvages dans le cycle **de cette** bruche. *Thèse de doctorat. Académie de Bordeaux.* 96 p.
- NTSAME-OBAME, S., DADIANE, M., DAFTE, B.M., RICHARD-TEMPLE, A., DIALLO, S., LO, I., DIAGNE, S. 1991 - Plantes de la **pharmacopée sénégalaise** : Activité antifongique "in vitro" des folioles de diverses **espèces sénégalaises** du **genre** Cassia : *Cusiu alata* L., *Cusiu sieberiuna* D.C., *Cusiu occidentalis* L., *Cusiu tora* L. (Caesalpinaceae). *Revue Med, Pharm. Afr.*, 5 (1) : 49-54.
- NWANZE, K.F. & HORBER, E. 1976. Seed **coats** of cowpeas affect oviposition and larval development of *Cullosobruchus maculatus*. *Environ. Entomol.*, 5 (2) : 213-218.
- NWANZE, K.F., HORBER, E. & PITTS, C.W. 1975 - Evidence for ovipositional **preference** of *Cullosobruchus maculatus* for cowpea varieties. *Environ. Entomol.*, 4 (3) : 409-412.
- O' DOWD, E.T. 1971 - Hermetic storage of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in small granaries, silos and pitta in Nigeria *Sumaru Misc. Paper* 31.
- OFUYA, T.I. 1986 - Use of wood ash, dry **chilli pepper** fruits and **onion scale** leaves for reducing *Cullosobruchus maculatus* (Fabricius) damage in cowpea seeds **during** storage. *J. Agric. Sci., Camb.*, 107 :467-468.
- PAJNI, H.R. & GILL, M. 1990 - Use of new pesticides of plants origin for the control of bruchids. In Fleurat-Lessard, F. & Ducom, P. "*Proc. 5th int. work. conf. on stored-prod. prof.* (Bordeaux, sept. 9-14, 1990), vol. III, Paris : 1671-1678.
- PAJNI, H.R. 1990 - Status of *Uscana muskerjii* (Mani) in the biocontrol of bruchids (Trichogrammatidae : Hymenoptera). In Fleurat-Lessard, F. & Ducom, P. "*Proc. 5th int. work. conf. on stored-prod. prof.* (Bordeaux, sept. 9-14, 1990), vol. II., Paris : 1279-1280.

- PATTINSON, M.I. 1969. Description d'une méthode de stockage de grains à la ferme par un **procédé** de conservation **hermétique** en utilisant des bidons métalliques. *Rapport du projet FAO de l'Institut de technologie alimentaire- Dakar (Sénégal)* 5 p.
- PAWLOWSKI, S.H., RIEGERT, P.W. & KRZIMANSKI, J. 1968. Use of grasshopper in bioassay of thioglucosies in rapeseed (*Brassica napus*). *Nature*, 220 : 174-175.
- PEREIRA, J.' 1983 • The effectiveness of six vegetable oils as **protectants** of **cowpeas** and bambara groundnuts against infestation by *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, 19 (2) : 57-62.
- PEREIRA, J. & WOHLGEMUTH, R. 1982 • Neem of West African origin as a **protectant** of stored maize. *Z angew. Entomol.*, 94 : 208-214.
- PIERGIOVANNI, A.R., SONNANTE, G, DELLA GATTA, C. & PERRINO, P. 1991 • Digestive enzyme inhibitors and storage pest **resistance** in cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. *Euphytica*, 54 : 191-194.
- PIERRARD, G. 1983 • Management and control of **insect Pests** of stored grain legumes. *Proc. Int. Workshop on IPC for grain legumes*. Goiania Goias (Brasil) 3-9 April 1983 : 276-286.
- POLEMAN, T.T. 1975. World food : a perspective. *Sci.*, 188 : 510-518.
- PREVETT, P.F. 1961 • **Field** infestation of cowpea (*Vigna unguiculata*) pods by beetles of the **families** Bruchidae and Curculionidae in Northern Nigeria. *Bull. Entomol. Res.*, 52 : 635-645.
- PREVETT, P.F. 1967 • Notes on the biology, food plants and distribution of nigerian Bruchidae (Coleoptera), with particular **reference** to the northern region. *Bull. Soc. Entomol.*, 1 : 3-7.
- PRUTHI, H.S. & SINGH, M. 1950 • Pests of stored-grain and their control. *Indian J. Agric. Sci. Special issue*.
- QADRI, S.S.H., USHA, G. & JABEEN, K. 1984. Sub-acute dermal toxicity of Neemrich-100 (tech.) to rats. *Int. Pest control* 26 : 18-20.
- RAJAN, P., DANIEL, W.A., PADMARANI, R. & SWAMINATHAN, M. 1975 • Effect of **insect** infestation on the **protein efficiency** ratio of maize and cowpea. *Ind. Journ. Nutr. & Diet.*, 12 : 354-357.

- RAJAPAKSE, R. 1990 - The effect of four botanicals on oviposition and adult **emergence** of the pulse beetle *Cullosobruchus maculatus*. In Fleurat Lessard, F. & Ducom, P. "Proc. 5th int. work. conf. on stored-prod. prot. (Bordeaux, sept. 9-14, 1990), vol. III. Paris, 1679-1680.
- REDDEN, R.J., DOBIE, P. & GATEHOUSE, A.M.R. 1983 - The inheritance of seed **resistance** to *Cullosobruchus maculatus* (F.) in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 1. Analysis of parental, F1, F2, F3 and backcross seed generations. *Aust. J. Agric. Res.*, **34** : 681-695.
- REES, D.P., DALES, M.J., & GOLOB, P. 1993 - Alternative methods for the control of stored-product **insect pests** : *A bibliographic database*. Chatham, United Kingdom : Natural Resources Institute. 151 p.
- REMBOLD, H., FORSTER, H. & GZOPPELT, C.H 1987 - Structure and biological **activity** of azadirachtins A and B. *Proc. 3rd Int. neem conf.*, Nairobi (Kenya), 1986 : 149-160.
- REYNOLDS, E.M., ROBINSON, J.M. & HOWELLS, C. 1967 - The effect on *Sitophilus granarius* (L.) of **exposure** to low concentrations of phosphine. *J. Stored Prod. Res.*, **2** : 177-186.
- ROJAS-ROUSSE, D., KALMES, R., COMBESCOT, C., ESLAMI, J. & GOMEZ-ALVAREZ, L. 1988 - Bilan nutritionnel au cours de développement de l'ectoparasite **grégaire** *Dinarmus vagabundus* et du **solitaire** *Dinarmus basalis*. *Entomol. Exp. Appl.*, **46** : 63-70.
- ROUZIÈRE, A. 1986 - Opération technologie de l'arachide. Présentation, réalisations, acquis et perspectives. *Réunion d'évaluation du programme , arachide* : 1-3 avril 1986. Institut Sénégalais de recherches Agricoles. 31 p.
- RUP, P.J. 1988 - Antenna and antennal sensilla dimorphism in *Cullosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, **24** (2) : 83-86.
- SALIH, O.M., NOUR, A.M. & HARPER, D.B. 1991 - Chemical and **Nutritional** composition of Two Famine Food Sources used in Sudan, Mukheit (*Boscia senegalensis*) and Maikah (Dobea roxburghi). *J. Sci. Food. Agric.* **57** : 367-377.
- SAMSON, P.R., BENGSTON, M., PARKER, R.J. & KEATING, J.A. 1987 - The effect of grain moisture on the **the biological activity** of fenitrothion residues on maize in storage. *Pestic. Sci.* **19** : 135-144.

- SANO, I. 1967 • Density effect and environmental temperature as the factors producing the active form of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera, Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, **2** : 187-195.
- SANO-FUJII, I. 1984 • Effect of bean water on the production of the active form of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, **20** (3) : 153-161.
- SCHENK-HAMLIN, D. & WRIGHT, V.F. 1980 • A bibliography of plant materials tested for activity against stored-product insects. *Postharvest Grain Systems R&D, research report* n° 29. KSU. 38 pp.
- SCHIFFERS, B.C., FRASELLE, J., HAUBRUGE, E. & VERSTRAETEN, C. 1987 • Etude de la persistance d'efficacité de quelques insecticides à l'égard de trois coléoptères des denrées entreposées (*Acantoscelides obtectus* SAY. (Bruchidae), *Trogoderma granarium* EVERTS (Dermestidae) et *Prostephanus truncatus* HORN. (Bostrychidae)). *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*, **52** (2a) : 507-514.
- SCHIFFERS, B.C., HAUBRUGE, E., GABRIEL, E., RODRIGUEZ-COBOS, C. & LEDEINE, J-M. 1989 • Comparaison d'efficacité de cinq insecticides pyrèthrinoides à l'égard de six insectes ravageurs des denrées entreposées. *Med. Landbouww. Rijks. Univ. Gent*, **54/3b** : 1095-1104.
- SCHMUTTERER, H. 1981. Some properties of components of the neem tree (*Azadirachta indica*) and their use in pest control in developing countries. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*, **46** (1) : 39-47.
- SCHMUTTERER, H., 1982. Ten years of neem research in the Federal Republic of Germany. In : H. SCHMUTTERER, K.R.S., ASCHER and H. REMBOLD, eds ; Natural Pesticides from the neem tree. *Proc. First. Int. Neem Conf.* Rottach-Egem : 21-32.
- SCHMUTTERER, H. 1987. Introduction to the 3 rd International neem conference. *Proc. 3 rd Int. neem conf.*, Nairobi (Kenya), 1986 : 15-17.
- SCHOONHOVEN, A.V., WASSOM, C.E., & HORBER, E. 1972. Development of maize weevil on kernels of opaque-2 and floury-, nearly isogenic com inbred lines. *Crop Science*, **12** : 862-863.
- SCHOONHOVEN, A.V., HORBER, E., & MILLS, R.B. 1976 • Conditions modifying expression of resistance of maize kernels to the maize weevil. *Environ. Entomol.*, **5** : 163-168.
- SCHOONHOVEN, A.V. 1978 • Use of vegetable oils to protect stored beans from bruchid attack. *J. Econ. Entomol.*, **71** (2) : 254-256.

- SECK, D. 1983 - Etude d'un ravageur des céréales. *Sitotroga cerealella* Oliv. (Lep. Gelechiidae) en milieu paysan au Sénégal. *Travail de fin d'études, F.S.A.Gx.* 123 p.
- SEMPLE, R.L. 1985 - **Problems** relating to pest control and use of pesticides in grain storage : the **current** situation in ASEAN and future requirements, pp 45-75. In B.R. Champ & E. Highley (eds), **pesticides and** hwnid tropical grain storage systems. **Australian** Centre for International Agricultural Research.
- SHEKIB, L.A., EL-IRAQUI, S.M. & ABO-BAKR, T.M - 1988. Studies on **amylase** inhibitors in *some egyptian legumes seeds*. *Plant Foods Hum Nutr.*, 38 : 325-332.
- SINGH, B.B., SINGH, S.R. & ADJADI, O. 1985 - Bruchid resistance in cowpea. *Crop Sci.*, 25 : 736-739.
- SINGH, R.P. 1986 - Comparaison of antifeedant **efficacy** and extract yields from different **parts** and **ecotypes** of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) **trees**. In : Schmitterer, H. & Ascher, K.R.S. "*Natural pesticides from the neem tree and other tropical plants*. *Proc. 3rd Znt. Neem Conf.* (Nairobi, 10-15 juillet, 1986). Eschbom. 185-194.
- SINGH, R.P. 1987 - Comparison of antifeedant efficacy and extract yields from different parts and ecotypes of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) **trees**. *Proc. 3 rd Znr. neem conf.*, Nairobi (Kenya), 1986 : 185-194.
- SINGH, S.R. 1977 - Cowpea **cultivars** resistant to **insect** pests in world **germplasm** collection. *Trop. Grain Legume Bull.*, 9 : 3-7.
- SINGH, S.R. & TAYLOR, T.A. 1978 - Pests of Grain **Legumes** and their control in **NiGer**ia in SINGH, S.R., VAN EMDEN, H.F. and TAYLOR, T.A., *Pests of Grain Legumes : Ecology and control*, Academic Press, London, pp. 108-109.
- SINGH, S.R., LUSE, R.A., LEUSCHNER, K. & NANGJU, D. 1978 - Groundnut **oil** treaanent for **the** control of *Callosobruchus maculatus* (F.) **during** cowpea storage. *J. Stored Prod. Res.*, 14 : 77-80.
- SINGH, S.R. & JACKAI, L.E.N. 1985 - **Insect pests** of cowpeas in Africa : **their life** cycle, economic importance and **potential** for control. In SINGH, S.R. & RACHZE, K.O. "*Cowpea Research, Production and Utilization*" : 217-231. London, Wiley. 448 pp.
- SINGH, S.R. 1987 - Host plant resistance for cowpea **insect** pest management. *Znsect Sci. Applic.*, 8 : 765-769.

- SINGH, S.R. 1990 • Insect pests of tropical food legumes. Chichester, Wiley. 45 1p.
- SINGH, S.R., JACKAI, L.E.N., DOS SANTOS, J.H.R. & ADALLA, C.B. 1990 • Insect pests of cowpea. In SINGH, S.R. "Insect pests of tropical food legumes". 43-49. Chichester, Wiley. 45 1 pp.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G., 1967 • Statistical methods. 6th ed. Iowa State Univ. Press, Ames, 593 pp.
- SOUTHGATE, B.J. 1979 • Biologie of the Bruchidae. *Ann. Review of Entomology*, **24** : 449-473.
- STOREY, C.L. 1975 • Mortality of adult stored-product insects in an atmosphere produced by an exothermic inert atmosphere generator. *J. Econ. Entomol.*, **68** (3) : 316-318.
- STOREY, C.L. 1978 • Mortality of cowpea weevil in a low-oxygen atmosphere. *J. Econ. Entomol.*, **71** (5) : 833-835.
- SU, H.C.F. & HORVAT, R. 1981 • Isolation, identification and insecticidal properties of *Piper nigrum* amides. *J. Agric. Food Chem.*, **29** (1) :115-118.
- SU, H.C.F. & HORVAT, R. 1987 • Isolation and characterization of four major componenets from insecticidally active lemon peel extract. *J. Agric. Food Chem.*, **35** (4) : 509-511.
- SU, H.C.F. 1977 • Insecticidal properties of black pepper to rice weevils and cowpea weevils. *J. Econ. Entomol.*, **70** (1) : 18-21.
- SU, H.C.F. 1991 • Laboratory evaluation of toxicity of *Calamus oil* against 4 species of stored-product insects . *J. Entomol. Sci.*, **26** (1) : 76-80.
- SU, H.C.F., SPEIRS, R.D. & MAHAMY, P.G. 1972 • Citrus oil as protectants of black-eyed peas against cowpea weevils : laboratory evaluation. *J. Econ. Entomol.*, **65** (3) : 1433-1436.
- SWAIN, T. 1977 • Secondary plant compounds as protective agents. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **28** : 479-501.
- SWAMIAPPAN, M., JAYARJ, S., CHANDY, K.C. & SUNDARAMURTHY, V.T. 1976 • Effect of activated kaolinitic clay on some storage insects. *Z. angew. Entomol.*, **80** : 385-389.

- TALL, S.G. 1991 • **Socio-économie** du programme **niébé**. ISRA/CRSP. Institut **Sénégalais** de Recherches Agricoles. 29 p.
- TANZUBIL, P.B. 1987 • The use of neem **products** in controlling the cowpea **weevil**, *Callosobruchus maculatus*. *Proc. 3 rd Int. neem conf.*, Nairobi (Kenya), 1986 : 517-523.
- TAYLOR, T.A. & AGRABJE, L.A. 1974 • **Flight activity** in normal and active forms of *Callosobruchus maculatus* (F.) in a store in Nigeria. *J. Stored Prod. Res.*, 10 : 9-16.
- TAYLOR, T.A. & ALUDO, J.I.S. 1974 • Short communication : A further note on **the** incidence of "active" females of *Callosobruchus maculatus* (F.) on mature cowpea in **the field** in Nigeria. *J. Stored Prod. Res.*, 10 : 123-125.
- TAYLOR, T.A. 1974 • Observations on the **effects** of initial population densities in culture, and humidity on the production of "active" females of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera, **Bruchidae**). *J. Stored Prod. Res.*, 10 : 113-122.
- THE PESTICIDE MANUAL. 1979. **Sixth** Edition : 356
- THOMAS, K.P., PINNINGER, D.B. & WILKIN, D.R. 1987. An assesment of **chlorpyrifos-methyl**, etrimfos, **fenitrothion** and pirimiphos-methyl as grain **protectants**. *Pestic. Sci.*, 21 : 57-72.
- TKACHUCK, R. 1972. Phosphorous residues in wheat due to phosphine fumigation. *Cereal Chem.*, 49 : 258-267.
- TOOKEY, H.L., VAN ETTEN, CH. & DAXENBICHLER, M.E., 1980. • Glucosinolates in : Toxic **constituents** of plant foodstuffs. 2nd Ed., Liener. Academic **Press**, NY, 103.
- TOURY, J., GIORGI, R., FAVIER, J.C., SAVINA, J.F. • 1967. Aliment de l'Ouest Africain. Tables de composition. *Ann. Nutr. Alim.*, 21 (2) : 73-127.
- TYLER, P.S. & BINNS, T.J. 1982 • The influence of temperature on the **susceptibility** to eight organophosphorous insecticides of susceptible and resistant strains of *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* and *Sitophilus granarius*. *J. stored Prod. Res.*, 18 : 13-19.
- UTIDA, S. 1954 - Phase dimorphism observed in the laboratory population of **the** cowpea weevil, *Callosobruchus quadrimaculatus*. *Jap. J. Appl. Zool.*, 18 : 161-168.

- UTIDA, S. 1972 • Density dependant **polymorphism** in the adult of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera, Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, 8 : 111-126.
- VAN EMDEN, H.F. 1972 • Aphids as phytochemists : In : J.B. HARBORNE, ed., Phytochemical ecology. Academic Press, London & New York : 25-43.
- VAN WAMBEKE, E., Buset, N., VANACHTER, A. & VAN ASSCHE, C. 1988 • Méthylisothiocyanate residues in crops and how to avoid them. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent.*, 53 (3b) : 1511-1517.
- ✓ VIAUD, P. 1983 • La protection des légumineuses contre les bruches : *Vigna unguiculata* et *Callosobruchus maculatus*. *Bull. Soc. Entomol. Fr.*, 88 : 241-249.
- VLJJAN, V.K. TRIPATHI, H.C. & PARIHAR, N.S. 1982 • A note on the toxicology of neem (*Azadirachta indica*) seed cake in sheep. *J. Envir. Biol.*, 3 : 47-52.
- WATT, J. M., AND BREYER-BRANDWIJK, M. G. 1962 • Medicinal and poisonous plants of Southern and Eastern Africa, E & S. Livingstone Ltd. Edinburgh and London.
- WEBB, R.E., HINEBAUGH, M.A., LINDQUIST, R.K. & JACOBSON, M. 1983 -Evaluation of aqueous solution of Neem seed extract against *Liriomyza sativae* and *L. trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *J. Econ. Entomol.* 76: 357-362.
- WHITE, N.D.G. & NOWICKI, T.W. 1985 • Effect of temperature and duration of storage on the degradation of malathion residues in dry rapeseed. *J. stored Prod. Res.*, 21 (3) : 111-114.
- WIGHTMAN, J.A. & SOUTHGATE, B.J. 1982 • Egg morphology, host, and probable regions of origin of the bruchids (Coleoptera : Bruchidae) that infest stored pulses • an identification aid. *N.Z. J. Exp. Agric.*, 10 : 95-99.
- WILKIN, D.R. & GREEN, A.A. 1970 - Polythene sacks for the control of insects in bagged grain. *J. Stored Prod. Res.*, 6 : 97-101.
- WOLFSON, J.L., SHADE, R.E., MENTZER, P.E. & MURDOCK, L.L. 1991 • Efficacy of ash for controlling infestations of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae) in stored cowpeas. *J. Stored Prod. Res.*, 27 (4): 239-243.

- XAVIER-FILHO, J., CAMPOS, F.A.P., ARY, M.B., PERES SILVA, C., CARVALHO, M.M.M., MACEDO, M.L.R., LEMOS, F.J.A. & GRANT, G. 1989 • Poor correlation between the levels of proteinase inhibitors found in seeds of different cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata*) and the resistance/susceptibility to predation by *Callosobruchus maculatus*. *J. Agric. Food Chem.*, 37 : 1139-1143.
- YADAVA, R.L. 1971 • Use of essential oil of *Acorus calamus* L. as an insecticide against the pulse beetle, *Bruchus chinensis* L. *Z. angew. Entomol.*, 68 : 289-294.
- YADAVA, S.R.S. & BHATNAGAR, K.N. 1987 • A preliminary study on the protection of stored cowpea grains against pulse beetle, by indigenous plant products. *Pesticides*, 87 : 25-29.
- ZANNO, R., MIURA, I. & NAKANISHI, K. 1975 • Structure of the insect phagorepellent Azadirachtin ; application of PRFT/CWD carbon-13 nuclear magnetic resonance. *J. Am. Chem. Soc.*, 97 : 1975-1977.
- ZEHREER, W. 1980 • Méthodes traditionnelles de lutte contre les insectes dans le cadre de la protection des stocks. *Problèmes de post-récolte* (113)- Documentation sur un séminaire OUA/GTZ. 92-1 18.
- ZEHREER, W. 1984. L'effet des substances de conservation traditionnelles utilisées dans le nord du Togo et de l'huile de nim pour le contrôle des parasites de stockage. In "Pesticides naturels de l'arbre de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) et des autres plantes tropicales". "Résumés de la deuxième conférence sur l'arbre de Nim, Rauschholzhausen, République Fédérale d'Allemagne, 25-28 mai, 1983". Eschbom. 53 pp.

	O ₂ (%)							CO ₂ (%)						
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
graines seules	21,7 ± 0,5	21.4 ± 0.7	21.4 ± 0,8	21.1 ± 0,2	20.8 ± 0.4	21.6 ± 0,2	21,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
graines avec L7	6,5 ± 0.9	4,2 ± 2.4	3,5 ± 3,1	0.7 ± 0.5	0,0 ± 0,0	1,3 ± 2,2	0,0 ± 0,0	19,2 ± 1,5	20.4 ± 1,7	22.3 ± 0.8	22,6 ± 0.9	23,9 ± 1.3	24.2 ± 0,9	22,8 ± 0,9
graines avec adultes	16.0 ± 1,3	13,8 ± 1,8	10,4 ± 1,5	3,0 ± 1,1	2,4 ± 0,2	1,5 ± 0,7	2,3 ± 0,3	3,6 ± 0,3	6,8 ± 0,7	12.6 ± 0.8	14.2 ± 0.4	15.6 ± 0,6	15.5 ± 0,3	15.2 ± 0,9

Annexe 1 . Evolution des concentrations journalières en oxygène et en dioxyde de carbone dans des bocaux de 210 ml contenant des graines de niébé saines et infestées avec des larves ou des adultes de *Callosobruchus maculatus*

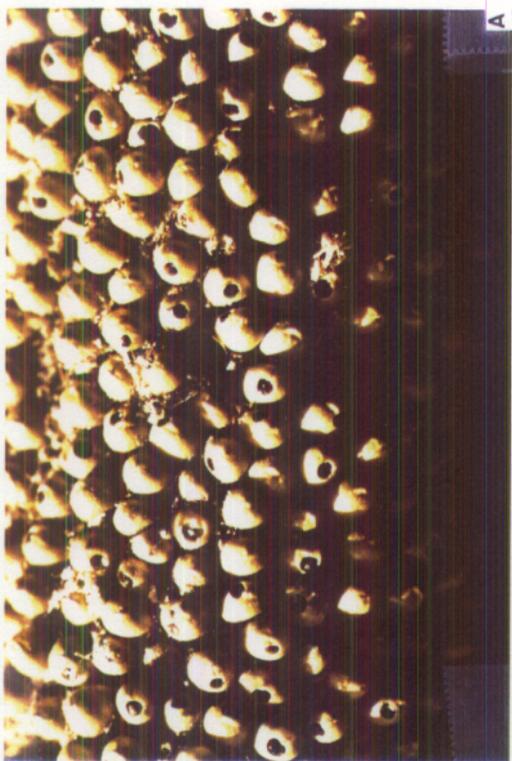
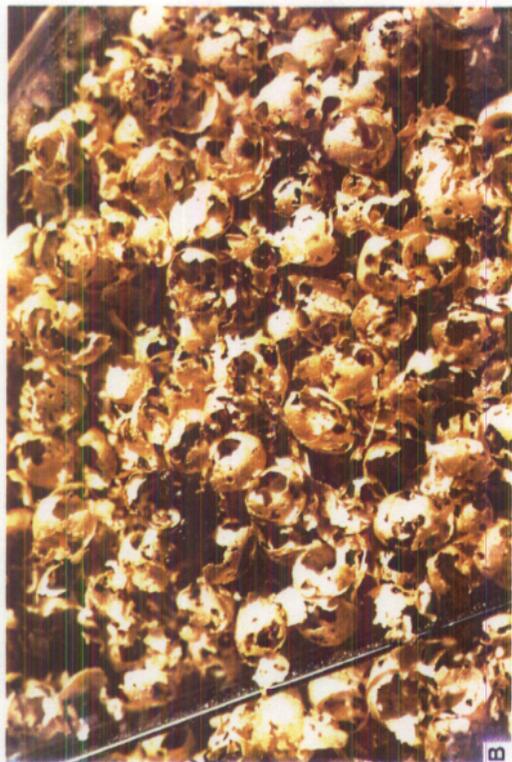
Traitement	Concentration en O ₂ (%)							Concentration en CO ₂ (%)						
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
graines seules	21,8 ± 0,1	21,1 ± 0,2	21,0 ± 0,2	21,0 ± 0,2	21,0 ± 0,3	21,0 ± 0,3	20,4 ± 0,9	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
graines avec adultes	19,2 ± 0,4	14,3 ± 0,2	12,4 ± 1,2	9,3 ± 0,5	3,9 ± 0,2	3,3 ± 0,6	2,2 ± 0,5	1,9 ± 0,2	4 s ± 0,1	7,3 ± 0,3	9,7 ± 0,9	14,2 ± 0,8	15,7 ± 1,0	15,1 ± 0,7

Annexe 2 • Evolution des concentrations journalières en oxygène et en dioxyde de carbone dans des bocaux de 850 ml contenant des graines de niébé saines et infestées avec des adultes de *Callosobruchus maculatus*.

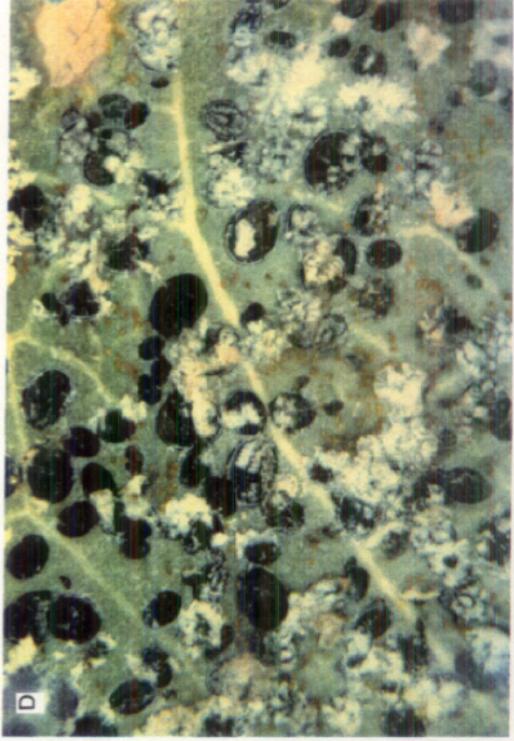
Durée de stockage (jours)	Durée de développement (jours)			Taux de réduction des émergences * (TR)		
	Adultes (A)	Jeunes larves (L7)	Larves âgées (L14)	Adultes (A)	Jeunes larves (L7)	Larves âgées (L14)
0 (témoin)	18		20			
1	18	23	20	0		36
2	18	24	20	0		41
3	20	25	21	53		67
4	23	27	28	93		99
5	26	28	29	100		100
6	24	28	30	100		100
7		28	27	100		99

$$* TR = 1 - \frac{(nE)T}{(nE)To} \cdot 100$$

Annexe 3 - Effet du stockage du niébé dans des bocaux hermétiques de 210 ml sur différents stades de *Callosobruchus maculatus*

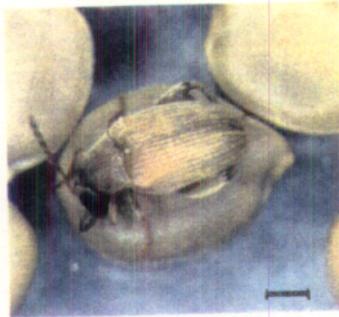


Annexe 5 - Problèmes phytosanitaires que nous avons observés sur *Boscia senegalensis* au Sénégal (Défoliations par *Coletis eris* Klug (Lepidoptera: Pieridae) (A&B) ; pucerons (C) ; cochenilles (D))

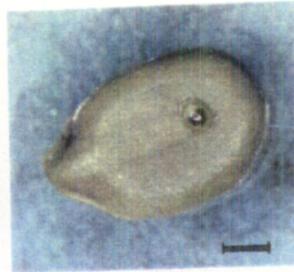


Annexe 6 - Morphologie et cycle de développement de *Careydon pallidus* 01. (Coleoptera: Bruchidae) ravageur des graines de *Cassia occidentalis* au Sénégal

Adulte



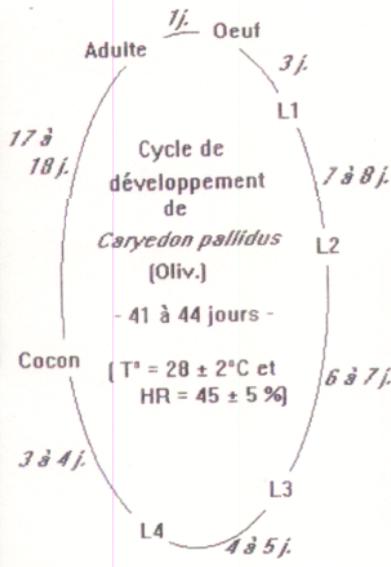
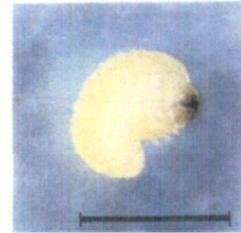
Oeuf de 1 jour



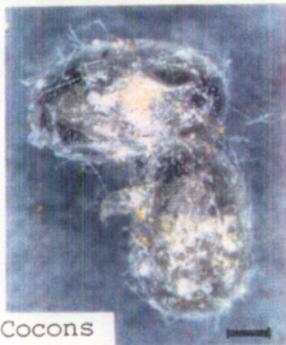
Nymphe



L1



Cocons



L2



L4



L3