

**UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR**  
(U.C.A.D)

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES**

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ANIMALE**



**DOCTORAT DE 3<sup>ème</sup> CYCLE**

Présenté par

**Mbacké SEMBENE**

**Modalités d'infestation de l'arachide par la bruche  
*Caryedon serratus* (Olivier) en zone soudano-  
sahélienne : identification morphométrique et  
génétique de populations sauvages et adaptées.**

Soutenu le 21 Mars 1997 devant la commission d'examen:

Président: M.	Bhen Sikina	TOGUEBAYE
Membres: MM.	Alex	DELOBEL
	Didier	FONTENILLE
	Sun Heat	HAN
	Jean	TROUILLET

# **AVANT-PROPOS**

*A ma mère Seynabou DIOU ...*

*A mon père Daouda...*

*bien qu'ils ne sachent pas lire...*

*savoir qu'il y promèneront leurs mains suffit à mon bonheur.*

*Je dédie également ce travail:*

*A ma femme, Doufi: merci pour ton amour et ta patience. Tu récolteras, j'en suis sûr, le fruit de tes efforts. Que Dieu te préserve du mal.*

*A mes enfants, Ibou, Mbacké, Madiop et Ndèye Seynabou. J'espère que vous trouverez en ce travail un exemple à dépasser.*

*A mes frères: Doudou, Maquette et Karim. A ma soeur Diass. C'est dans l'unité que l'on réussit...*

*Au Docteur Mbarqou Sow. Tu es pour moi plus qu'un frère. Merci pour ton soutien indéfectible, merci d'avoir guidé mes premiers pas à l'université.*

*A ma soeur Mariama Ndiaye. Je te souhaite beaucoup de bonheur dans ta vie conjugale.*

*A mon cousin et ami Pape Karim Gueye. Je m'honore de ton estime. Merci pour ton amitié sincère.*

*A mes beaux-parents Adramé Diouf et Safiétou Seck. Merci de la confiance que vous me témoignez.*

*A monsieur Aziz Samb. Si j'ai pu travailler avec quiétude, c'est grâce à ton soutien. Que Dieu s'interpose entre toi et le mal partout où tu seras. Merci à Lala, succès aux enfants.*

*A monsieur et madame Aimé Sène. Merci de la confiance dont vous m'honorez.*

*A tous mes oncles, A ma tante Aida Samb. A tous mes cousins et cousines, où qu'ils soient.*

*A tous mes amis et camarades: Madiop, Makhfouss, Ibou Diédhiou, Mac, Ibou Goudiaby, Lamine Kane, Zal, Tapha, Ousmane, Abou. A tous les membres du D. E. T.*

*A mes soeurs: Nimzatt, Ndèye Khoudia, Guagna, Awa Ndiaye, Aida Bâ et Ami Sène*

*A tous les paysans de Keur Baka. A tous les agriculteurs du monde.*

*A mes maîtres et juges. Aux précurseurs de la génétique des populations.*

*A la mémoire de tante Fatou Gueye. A la mémoire de Alassane Ndoye... Que la terre vous soit légère.*

*A tous ceux qui m'ont connu et aimé.*

*A tous ceux que ce travail intéresse.*

Cette thèse est le fruit d'un travail mené au Laboratoire O.R.S.T.O.M./I.T.A. de Protection des Stocks de Dakar. Elle s'intègre au programme de recherche sur l'écologie et l'incidence des ravageurs des denrées stockées en zone tropicale. Elle a été menée sous la direction du Docteur Alex DELOBEL. Au terme de cette étude, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à :

Dr. Alex DELOBEL, Directeur de Recherche à l'O.R.S.T.O.M., pour nous avoir accueilli au sein de son équipe. Sa constante disponibilité, sa rigueur, son honnêteté et son efficacité dans le travail, sa modestie et son sens des relations humaines font de lui un exemple. Plus qu'un directeur de thèse, il a été pour moi un guide et un conseiller. Je voudrais lui exprimer tout mon estime et ma sincère reconnaissance et à travers sa personne remercier toutes les autorités de l'O.R.S.T.O.M.

Dr. Sun Heat HAN, Maître de Conférence, Chargé de cours à l'U.C.A.D., Chef du Laboratoire de Zoologie des Invertébrés Terrestres, pour avoir accepté d'être mon co-encadreur malgré son emploi du temps chargé. Je voudrais le remercier de sa participation active à ce travail, de toutes les suggestions qui m'ont été d'un apport considérable. Toute ma gratitude et ma sincère reconnaissance.

Dr. Bhen Sikina TOGUEBAYE, Professeur, Chef du département de Biologie Animale de l'U.C.A.D pour avoir accepté de juger ce travail et de présider le jury de cette thèse, malgré ses multiples charges. Je voudrais lui manifester toute ma gratitude et ma reconnaissance.

Dr. Jean TROUILLET, Professeur, Responsable du 3<sup>ème</sup> cycle de Biologie Animale, pour tout le travail combien important qu'il mène pour nous assurer une bonne formation. Il a accepté de juger ce travail et de faire partie du jury. Je voudrais aujourd'hui lui transmettre toutes mes remerciements et lui témoigner de toute ma gratitude.

Dr. Didier FONTENILLE, Chargé de Recherche à l'O.R.S.T.O.M. pour m'avoir aidé à accéder aux logiciels de génétique et accepté spontanément de juger ce travail. Je voudrais lui manifester toute ma gratitude.

Dr. Maurice TRAN, Entomologiste à l'O.R.S.T.O.M., pour son accueil chaleureux et réconfortant. Je voudrai aujourd'hui le remercier de tous les conseils dont j'ai bénéficié de sa part et lui témoigner de toute ma gratitude.

Dr. Saliou NDIAYE, Chef du département des Productions Végétales à l'E.N.S.A. pour sa participation active à la réalisation de ce travail. Je regrette aujourd'hui qu'il ne puisse pas faire partie du jury. Je voudrais aujourd'hui, le remercier de tout son apport scientifique.

Dr. Absa GUEYE NDIAYE, Maître Assistante à l'U.C.A.D., pour nous avoir permis d'intégrer le Laboratoire de Protection des Stocks. Je voudrais aussi lui manifester toute ma reconnaissance pour avoir guidé mes premiers pas dans la recherche et lui témoigner de toute ma considération.

Monsieur Mouhamadou DIOP, Directeur de l'I.T.A., pour avoir facilité notre séjour dans l'Institut.

Dr. Babacar NDOYE, Directeur Technique et Scientifique de l'I.T.A., pour sa constante disponibilité et sa modestie. Je voudrai lui manifester toute ma reconnaissance.

Dr. Amadou KANE, Chef du Laboratoire d'Analyse Phytosanitaire de l'Institut de Technologie alimentaire, pour sa modestie et les nombreux conseils utiles à un chercheur débutant. Je voudrais lui manifester de toute ma considération.

Tous mes camarades de Laboratoire: Momar T. GUEYE, KANDJI, C. CARDET ; BOMBART du Laboratoire d'Entomologie à l'Institut Pasteur . tous les agents de l'I.T.A. ; tous les techniciens du Laboratoire de Génétique de l'O.R.S.T.O.M. et particulièrement Jean Paul BRIZARD ; tous les techniciens du département de Biologie animale et singulièrement Michel SARR et M. NDAO.

# SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....1

**CHAPITRE I: LE SYSTEME *CARYEDON SERRATUS*/ARACHIDE:  
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....5**

**I- LE RAVAGEUR: *CARYEDON SERRATUS* (OLIVIER).....6**

I.1- SYSTEMATIQUE.....6

I.2- BIOLOGIE.....7

I.3- ORIGINE ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE.....9

I.4- PLANTES HÔTES SAUVAGES.....9

I.4.1- *Bauhinia rufescens* Lam.....11

I.4.2- *Bauhinia monandra* Kurz.....11

I.4.3- *Bauhinia tomentosa* Linné.....11

I.4.4- *Cassia sieberiana* DC.....13

I.4.5- *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst.....13

I.4.6- *Piliostigma thonningii* (Schum.) Milne-Redh.....13

I.4.7- *Tamarindus indica* Linné.....13

I.5- PARASITOÏDES.....14

**II- L'ARACHIDE.....15**

II.1- ORIGINE ET DISTRIBUTION.....15

II.2- PRATIQUES CULTURALES ET COMMERCIALISATION.....16

II.3- VARIETES ET SELECTION.....19

II.4- ENNEMIS DES CULTURES ET DES STOCKS .....21

II.5- PROTECTION DES STOCKS CONTRE *C. SERRATUS*.....22

<b>CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES</b> .....	24
<b>I- CADRE D'ETUDE</b> .....	25
<b>II- DYNAMIQUE DE CONTAMINATION DE L'ARACHIDE PAR <i>C. SERRATUS</i></b> .....	29
INTRODUCTION.....	29
II.1.- MATERIEL.....	31
II.1.1- Les parcelles.....	31
II.1.2- Les variétés d'arachide.....	31
II.2- METHODES.....	31
II.2.1- Infestation de l'arachide au champ.....	31
II.2.1.1- Echantillonnage.....	31
II.2.1.2- Paramètres analysés.....	32
II.2.2- Prospection géographique.....	35
<b>III- IDENTIFICATION MORPHOMETRIQUE DE DIFFERENTES SOUCHES DE <i>C. SERRATUS</i></b> .....	36
INTRODUCTION.....	36
III.1- MATERIEL.....	37
III.1.1- Les plantes hôtes échantillonnées.....	37
III.1.2- Souches étudiées.....	37
III.2- METHODES.....	39
III.2.1- Conditions d'élevage.....	39
III.2.2- Choix des variables.....	42
III.2.3- Analyses statistiques.....	43

<b>IV- DIFFERENCIATION GENETIQUE DE SOUCHES SAUVAGES ET ADAPTEES DE C. SERRATUS.....</b>	<b>45</b>
INTRODUCTION.....	45
IV.1- MATERIEL.....	47
IV.1.1- Récolte des gousses.....	47
IV.1.2- Echantillons analysés.....	48
IV.2- METHODES.....	49
IV.2.1- Principe de l'électrophorèse.....	49
IV.2.2- Préparation du gel.....	52
IV.2.2.1- Choix du support.....	52
IV.2.2.2- Préparation du gel d'amidon.....	52
IV.2.3- Extraction des protéines.....	54
IV.2.4- Migration des protéines.....	54
IV.2.4.1- Dépôt des échantillons.....	54
IV.2.4.2- Conditions de migration.....	56
IV.2.5- Révélation des systèmes enzymatiques.....	56
IV.2.6- Paramètres génétiques et études statistiques.....	60
IV.2.6.1- Variabilité génétique.....	60
IV.2.6.1.1- Nombre moyen d'allèles.....	60
IV.2.6.1.2- Fréquences alléliques.....	61
IV.2.6.1.3- Taux de polymorphisme.....	61
IV.2.6.1.4- Hétérozygotie.....	62
IV.2.6.2- Equilibre génétique.....	62
IV.2.6.2.1- Equilibre de Hardy-Weinberg.....	62
IV.2.6.2.2- Equilibre de liaison.....	64
IV.2.6.3- Différenciation génétique.....	64
IV.2.6.3.1- Analyse Factorielle des Correspondances.....	64
IV.2.6.3.2- Indices de fixation.....	64
IV.2.6.3.3- Identité et Distance génétiques de Nei.....	66
IV.2.6.3.4- Flux génique.....	67

<b>CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	68
<b>I- DYNAMIQUE DE CONTAMINATION DE L'ARACHIDE PAR <i>C. SERRATUS</i></b> .....	69
I.1- RESULTATS.....	69
I.1.1- Infestation au champ.....	69
I.1.2- Prospection géographique.....	76
I.2- DISCUSSION.....	78
<b>II- IDENTIFICATION MORPHOMETRIQUE DE DIFFERENTES SOUCHES DE <i>C. SERRATUS</i></b> .....	82
II.1- RESULTATS.....	82
II.1.1- Mensurations brutes.....	82
II.1.2- Données transformées.....	84
II.2- DISCUSSION.....	85
II.2.1- Validité des méthodes employées.....	85
II.2.2- Caractéristiques des souches étudiées.....	85
<b>III- DIFFERENCIATION GENETIQUE DE SOUCHES SAUVAGES ET ADAPTEES DE <i>C. SERRATUS</i></b> .....	87
III.1- RESULTATS.....	87
III.1.1- Les systèmes enzymatiques.....	87
III.1.2- Les zymogrammes polymorphes.....	87
III.1.3- Analyse génétique.....	91
III.2- DISCUSSION.....	95
III.2.1- Variation allozymique.....	95
III.2.2- Variabilité génétique.....	96
III.2.3- Structuration génétique.....	98
<b>CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS</b> .....	103
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	108
<b>ANNEXES</b> .....	122

# **INTRODUCTION**

Les autorités sénégalaises ont entrepris, depuis l'indépendance, de développer aussi bien les cultures vivrières que les cultures de rente afin de réduire le recours à l'extérieur et d'atteindre l'autosuffisance alimentaire. Aussi, les Instituts de Recherche et les Projets de Développement se sont-ils attachés à accroître la production agricole en intervenant principalement sur la sélection variétale et la maîtrise du cycle végétatif des plantes cultivées. Mais, bien que la pluviométrie demeure un facteur non contrôlé, l'inadéquation observée jusqu'à ce jour entre l'augmentation des besoins alimentaires et les ressources disponibles n'est pas seulement due à une simple insuffisance de la production agricole mais aussi à une mauvaise gestion du système post-récolte et particulièrement des problèmes liés à la conservation des récoltes. Le caractère saisonnier de la plupart des productions agricoles et l'étalement de la consommation sur toute l'année rendent nécessaire un stockage sur une longue période. Si l'on ajoute à ceci, la quasi-absence, en milieu paysan, de méthodes de protection des stocks contre leurs principaux déprédateurs, tous les facteurs sont réunis pour un potentiel élevé de pertes de nourriture.

Les pertes interviennent à tous les stades, de la récolte à la consommation: d'abord chez le producteur, qu'il s'agisse de produits destinés à l'autoconsommation, à la semence ou en attente d'être commercialisés ; puis pendant le transport vers les lieux de stockage et au cours du stockage ; enfin dans les réserves des commerçants. Toutes ces pertes sont d'autant plus dommageables qu'elles affectent le produit une fois récolté ; elles ne nuisent pas seulement au paysan mais coûtent aussi très cher à l'économie nationale.

Force est cependant de reconnaître que les dégâts sont souvent mal évalués et difficilement chiffrables. Au niveau mondial, la F.A.O avançait en 1987, le chiffre de 42 millions de tonnes pour les pertes annuelles intervenant pendant la conservation. Il est estimé que les seuls insectes et particulièrement les bruches, sont responsables d'environ 40% de ces pertes. Et contrairement aux dégâts avant récolte, celles-ci sont définitives dans le sens qu'elles ne peuvent être compensées par une "récupération" de la plante.

L'importance économique de l'arachide pour un pays comme le Sénégal, n'est plus à démontrer. Cette légumineuse rapporte chaque année 45 milliards de Frs C.F.A. (avant dévaluation), ce qui représente 40% de l'ensemble des exportations du pays (Anonyme, 1987). Or, les pertes qu'occasionne le ravageur le plus nuisible à la production d'arachide, *Caryedon serratus* (Olivier) (Coleoptera, Bruchidae) peuvent aller jusqu'à 83% pour une durée de stockage de 4 mois (Ndiaye, 1991). Ceci constitue un manque à gagner de plusieurs millions de francs. De plus, les orifices faits dans la coque par les larves de *C. serratus* favorisent l'attaque d'autres insectes et facilitent le développement d'une moisissure (*Aspergillus flavus*) productrice d'une substance cancérigène: l'aflatoxine.

La question qui se pose aujourd'hui est de savoir comment éliminer des stocks d'arachide les populations de bruches sans forcément disposer des moyens sophistiqués de traitement, de prévention et de stockage dont bénéficient les pays du nord ; il s'agit aussi d'éviter dans toute la mesure du possible que l'infestation ne gagne des villages ou des régions non encore touchés par le ravageur. Ceci n'est possible que dans la mesure où nous disposons d'un certain nombre d'éléments: d'abord, une bonne connaissance de la biologie de l'insecte, c'est-à-dire des caractéristiques de son développement, des relations qu'il noue avec son environnement, des variations de ses populations au cours de l'année, de la dynamique de contamination de l'arachide.

Il faut d'abord noter que les premières infestations de l'arachide par *Caryedon serratus* ont été signalées au début de notre siècle (Appert, 1954 ; Davey, 1958 ; Delobel, 1995) alors que la bruche de l'arachide a été décrite depuis 1790. Le problème des modalités de passage de ce ravageur de ses plantes hôtes sauvages (qui sont des Caesalpiniaceae appartenant aux genres *Bauhinia*, *Cassia*, *Piliostigma* et *Tamarindus*) à une Fabaceae cultivée dont la fructification est hypogée, s'est toujours posé. De plus, l'importance relative accordée à ces plantes hôtes naturelles, dans l'infestation de l'arachide, a toujours fait l'objet de controverses entre auteurs. Deux hypothèses sont émises:

-La première considère que les plantes hôtes naturelles ne joueraient qu'un rôle insignifiant ; la contamination se ferait *in situ*, faute d'un nettoyage insuffisant des lieux de stockage où sont rentrées les nouvelles récoltes (Green, 1959 ; Ali-Diallo & Pierre, 1990).

-La seconde hypothèse soutient une origine double de l'infestation à partir des stocks mal nettoyés et par l'introduction de gousses ayant subi une infestation primaire lors de la période de séchage au champ (Matokot *et al.*, 1987 ; Ndiaye et Jarry, 1990 ; Ndiaye, 1991). Selon ces auteurs, la contamination a déjà eu lieu au moment du séchage. L'insecte se trouve abrité et se développe dans les graines. Un tel processus est envisagé chez d'autres Bruchidés (Labeyrie, 1957 ; Jarry, 1984 ; Pimbert, 1985 ; Alzouma *et al.*, 1985).

On voit ainsi que *C. serratus* se développe dans la nature sur des Caesalpiniaceae sauvages et qu'elle infeste l'arachide, mais très peu de travaux, avec des résultats controversés, ont été réalisés sur la contamination des arachides en plein champ.

D'autre part, s'il est établi que l'infestation se produit au champ à partir des plantes hôtes de *C. serratus*, une question reste cependant à résoudre: quelle est la part de chaque Caesalpiniaceae dans l'infestation de l'arachide, c'est à dire dans la population d'adultes existant dans la nature au moment de l'arrachage ? Ceci est essentiel dans la compréhension de la dynamique d'infestation car plusieurs observations suggèrent qu'il existe au sein de l'espèce *C. serratus* des populations relativement distinctes liées à des hôtes différents. En

effet, la bruche est présente dans de nombreuses régions tropicales et équatoriales du globe qui diffèrent entre elles tant par les conditions climatiques que par la constitution de la biocénose et en particulier par le nombre des plantes hôtes présentes. De plus, *C. serratus* n'infeste pas l'arachide dans toutes les zones où cette plante est cultivée (Gagnepain *et al.* 1986 ; Delobel & Matokot, 1991). Par ailleurs, des études de comportements de ponte (Robert, 1984 ; Ndiaye, 1991) ont montré que la bruche de l'arachide se développe en suivant le principe de sélection d'hôte de Hopkins. Selon ce principe, certains insectes parasites se développant aux dépens de plusieurs hôtes auraient tendance à pondre sur la même espèce que celle où ils ont effectué leur développement.

On conçoit dès lors que des mécanismes multiples et probablement complexes déterminent les relations existant entre les différentes espèces hôtes et la population de la bruche de l'arachide. Un mode de lutte raisonnée, reposant sur d'autres principes que la destruction systématique des insectes par voie chimique, ne peut se développer sans la connaissance du statut des populations auxquelles on a affaire.

Après une revue bibliographique portant sur le système *C. serratus*/arachide, nous tenterons:

- De déterminer le moment précis où se produit l'infestation de l'arachide et son évolution durant le séchage, dans une zone où sa culture est intensive et où plusieurs plantes hôtes de *C. serratus* sont présentes. Dans le même ordre d'idées, nous examinerons, sur une zone géographique plus large, par des observations ponctuelles et des prélèvements uniques, les relations existant entre la répartition géographique des légumineuses hôtes de *C. serratus* et les niveaux d'infestation de l'arachide au Sénégal.

- De comparer, par deux analyses distinctes mais complémentaires, différentes bruches inféodées à l'arachide et aux divers hôtes sauvages.

Une analyse morphométrique nous permettra de voir s'il existe des différences morphologiques entre *C. serratus* issus d'hôtes différents.

Cette méthode comparative simple sera suivie d'une étude de la structuration génétique de diverses populations. Cet aspect de la question n'a jamais été étudié et permettra sans doute d'identifier les bruches responsables de la primo-infestation de l'arachide.

Nous essaierons, au terme de cette étude, de montrer l'intérêt que peuvent présenter les résultats obtenus et proposerons des solutions pouvant éradiquer ou atténuer les pertes subies par l'arachide qui constitue, au Sénégal, la principale source de devises et le principal revenu du paysan.

**LE SYSTEME *CARYEDON SERRATUS*/ARACHIDE:  
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

## I- LE RAVAGEUR: *CARYEDON SERRATUS* OLIVIER

### I.1- SYSTEMATIQUE

Plusieurs noms d'espèces ont été utilisés pour caractériser la bruche de l'arachide. Mais, à la suite des travaux de Southgate & Pope (1957), Mujerki & Ramdas Menon (1957) et Prevett (1965), Decelle (1966) fit une révision systématique de la bruche de l'arachide après observation et dissection d'exemplaires types provenant des récoltes de Geoffroy De Villeneuve au Sénégal (Ndiaye, 1991). Il indiqua que les appellations antérieures comme *Caryedon acaciae* Gyll., *Caryedon cassiae* Gyll., *Caryedon fuscus* Goeze,... ont été abusivement et erronément employées et que ces bruches désignent en réalité d'autres espèces. Depuis ces études, la synonymie de la bruche de l'arachide s'établit comme suit:

*Bruchus serratus* Ol. , 1790,  
*Caryoborus serratus* (Ol. ),1790,  
*Bruchus gonagra* F.,1798,  
*Caryoborus gonagra* (F. ),1798,  
*Pachymerus gonager* (F. ), 1798,  
*Caryedon gonagra* (F. ), 1798,  
*Caryoborus fuscus* Bedel, 1901,  
*Pachymerus fuscus* (Bedel), 1901,  
*Caryedon fuscus* (Bedel), 1901,  
*Pachymerus sicutensis* Pic, 1924.

Un seul nom, *Caryedon serratus*, est retenu après les travaux de Decelle (1966).

La position systématique actuelle est la suivante:

Ordre:	Coléoptères
Famille:	Bruchidae
Sous-famille:	Pachymerinae
Tribu:	Caryedini
Genre:	<i>Caryedon</i>
Espèce:	<i>serratus</i>

C'est la seule espèce du genre actuellement inféodée à une légumineuse alimentaire cultivée en Afrique ( Decelle, 1981; 1987), malgré l'importance de ce genre sur ce continent.

## 1.2- BIOLOGIE

L'adulte de *C. serratus* (Fig. 2c) mesure 6 mm de long et 2 à 2,3 mm de large (Delobel & Tran, 1993). Il est de couleur brun-noirâtre. Les fémurs postérieurs sont fortement dilatés et présentent des dents sur le bord intérieur. Les tibias sont recourbés en arc de cercle Appert (1954), Cancela da Fonseca (1964) et Pajni & Mann (1979) notent que les adultes de *C. serratus* ont une activité crépusculaire. Gagnepain *et al.* (1986) et Boucher & Pierre (1988) font état d'une activité nocturne ne s'arrêtant qu'aux heures chaudes de la matinée. Les adultes émergeant des cocons sont sexuellement mûrs et l'accouplement, qui dure 25 à 40 mn à 30°C et 70% HR (Pajni & Mann, 1979), a lieu en général moins de 24 h après l'émergence (Cancela Da Fonseca, 1964 ; Ndiaye, 1981). Un spermatophore est déposé dans la bourse copulatrice de la femelle. Boucher & Huignard (1987) pensent que le dépôt de spermatophore dans la bourse copulatrice influe sur l'activité reproductrice des femelles par stimulation de l'ovogenèse et la ponte comme chez *Acanthoscelides obtectus* (Huignard, 1976; Pouzat, 1977; Labeyrie 1977 ; 1978 a et b). Ces résultats n'ont pas été confirmés par Delobel (1989a) qui note chez *C. serratus* que "*la présence du mâle et l'insémination ne paraissent pas avoir d'effets sur l'ovogenèse*".

La femelle pond ses oeufs peu de temps après l'accouplement, pendant la nuit, sur les gousses, de préférence dans les creux et crevasses. L'oeuf, de couleur blanche, est de forme ovoïde (L = 1 mm) ; le chorion est finement réticulé. A jeun, la fécondité moyenne varie de 20 à 115 oeufs, suivant les conditions de température et d'humidité. En présence de nourriture (pollen) et d'eau, elle peut augmenter jusqu'à 650 oeufs (Delobel, 1989a). La fécondité moyenne et la production ovarienne de *C. serratus* dépendent de facteurs comme l'accouplement (Boucher & Huignard, 1987) et la présence de la plante hôte qui stimulent l'ovogenèse et la ponte (Delobel, 1989a).

L'oeuf éclôt au bout d'une semaine environ (Ndiaye, 1981; Robert, 1984) et la larve néonate perce la cosse de la gousse, traverse le péricarpe, perce le tégument et pénètre dans la graine qu'elle consomme. Le développement larvaire qui dure deux à trois semaines à 35-40° C peut s'effectuer dans une ou plusieurs graines.

Quatre stades larvaires sont identifiés par Prevett (1967). Les larves sont dodues et arquées, de couleur rosâtre avec une tête marron. Celles de deuxième et troisième stade, peu mobiles, ont des pattes réduites (Johnson & Kister, 1987). La larve de dernier stade (Fig. 1a), après avoir consommé la presque totalité des cotylédons, découpe dans le tégument de la graine et la coque de la gousse, un trou d'environ 3 mm de diamètre (Appert, 1954).



Figure 1: *Caryedon serratus*: (a), larve de quatrième stade sortant d'une graine d'arachide ;  
(b), adulte émergeant de son cocon ; (c), cocons et adultes sur arachide infestée.  
lr = larve de *C. serratus* ; co = cocon de *C. serratus* ; ad = adulte de *C. serratus* ;  
go = gousses d'arachide

La nymphose a lieu soit dans la graine, dans un cocon tissé au niveau de l'orifice, soit à l'extérieur, dans un cocon collé sur une gousse ou dans le sol (Conway, 1975). Pierre & Huignard (1990) notent que la sortie et la chute des larves de quatrième stade a lieu lors du passage jour/nuit. Environ deux semaines après la nymphose, les adultes émergent des cocons (Fig. 1b). Dans certaines situations, on constate un étalement très important des émergences ; l'intervalle entre les premières et les dernières sorties pouvant atteindre jusqu'à 4 mois. Il pourrait s'agir d'un mécanisme de quiescence à l'intérieur du cocon, qui serait lié à l'humidité (Robert, 1984). Dans la journée, l'adulte se cache dans toutes sortes d'abris: interstices, crevasses d'écorce, ou même regagne le cocon d'où il est issu. Il peut se nourrir de substances diverses: pollen, moisissures, liquides sucrés, eau. C'est apparemment un bon voilier, encore qu'aucune évaluation des capacités migratoires n'ait pu être faite à ce jour.

### I.3- ORIGINE ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE

*C. serratus* est selon Decelle (1966) un insecte d'origine africaine ; sa plante hôte initiale serait *Tamarindus indica*. La vaste dissémination de cette bruche serait due à la commercialisation du tamarin et de l'arachide. C'est une bruche qui existe en effet dans presque toute l'Afrique tropicale, surtout dans les régions de savanes arborées: Mauritanie, Sénégal, Mali, Guinée-Bissau, Côte d'Ivoire, Ghana, Burkina Faso, Niger, Tchad, Nigeria, Cameroun, Soudan, Ethiopie, Kenya, Tanzanie, Zimbabwe, Zaïre, Congo-Brazzaville (Decelle, 1987). Elle a été aussi introduite dans les îles Mascareignes (La Réunion, Maurice, Rodriguez) et dans les îles Seychelles à Mahé (Decelle, 1987). Elle a été récemment signalée (comme ravageur de l'arachide) en République Centrafricaine (Koyabay, 1988). Outre l'Afrique et Madagascar, l'aire de dispersion actuelle de *C. serratus* couvre plusieurs régions tropicales d'Asie et d'Océanie, ainsi qu'une partie des régions néotropicales: Colombie (Velez Angel, 1972), Jamaïque et Mexique (Johnson & Kingsolver, 1981).

### I.4- PLANTES HÔTES SAUVAGES

La liste des plantes hôtes sur lesquelles se développe *Caryedon serratus* dans la nature est difficile à établir en raison même de l'imprécision qui a longtemps caractérisé l'identité de cette espèce. Davey (1958) cite dans un recensement bibliographique un nombre considérable de légumineuses hôtes de *Caryedon serratus*. Ces travaux seront revus à cause des confusions taxinomiques faites par cet auteur. C'est Prevett (1965, 1966 a et b; 1967) qui établit au Nigeria et en Ouganda l'inventaire des plantes hôtes de la bruche de

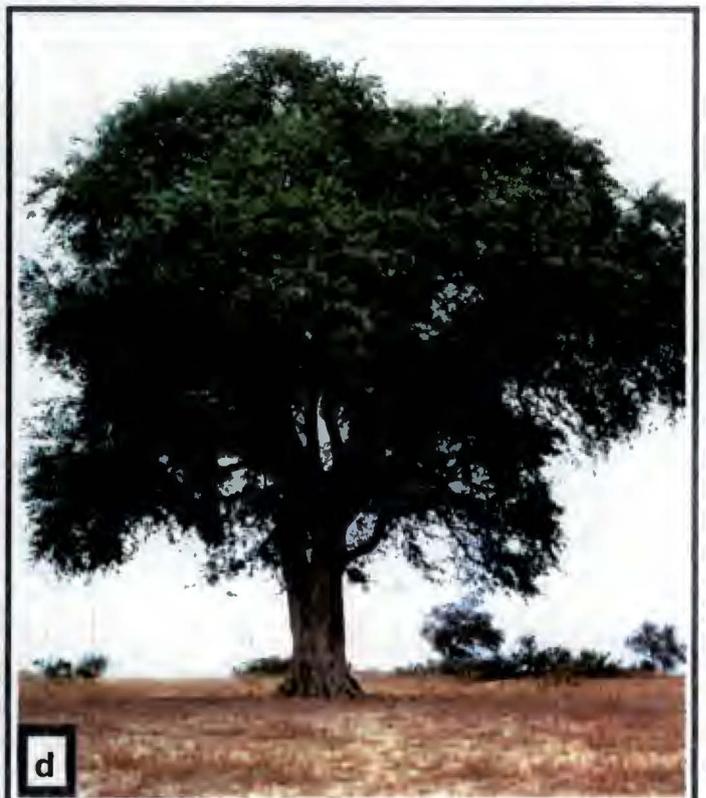
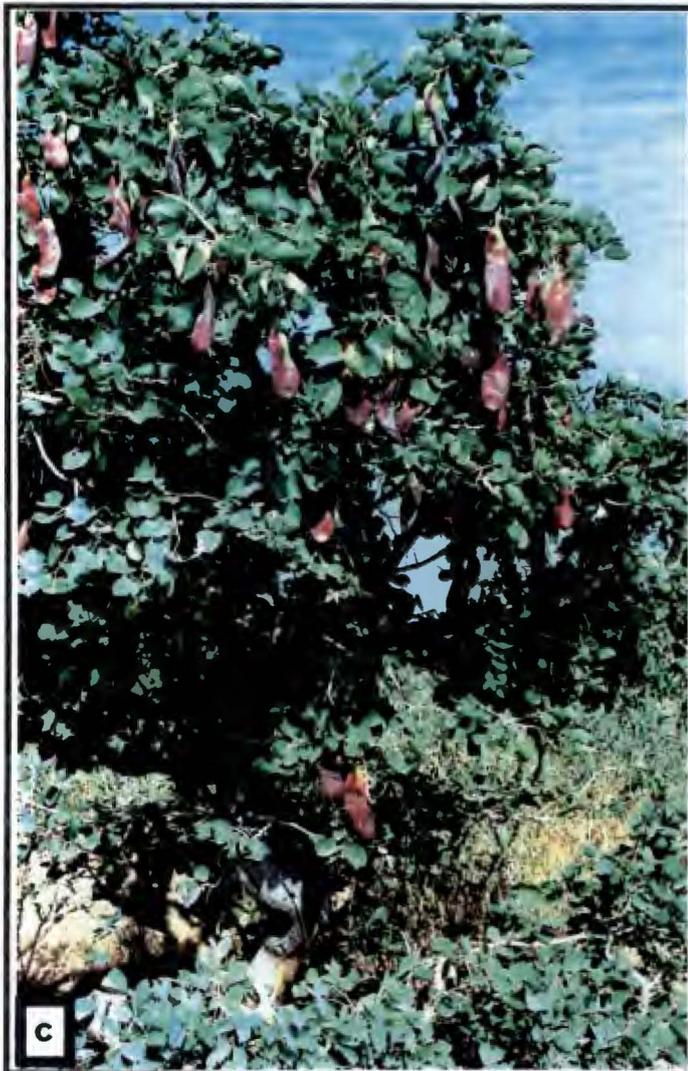
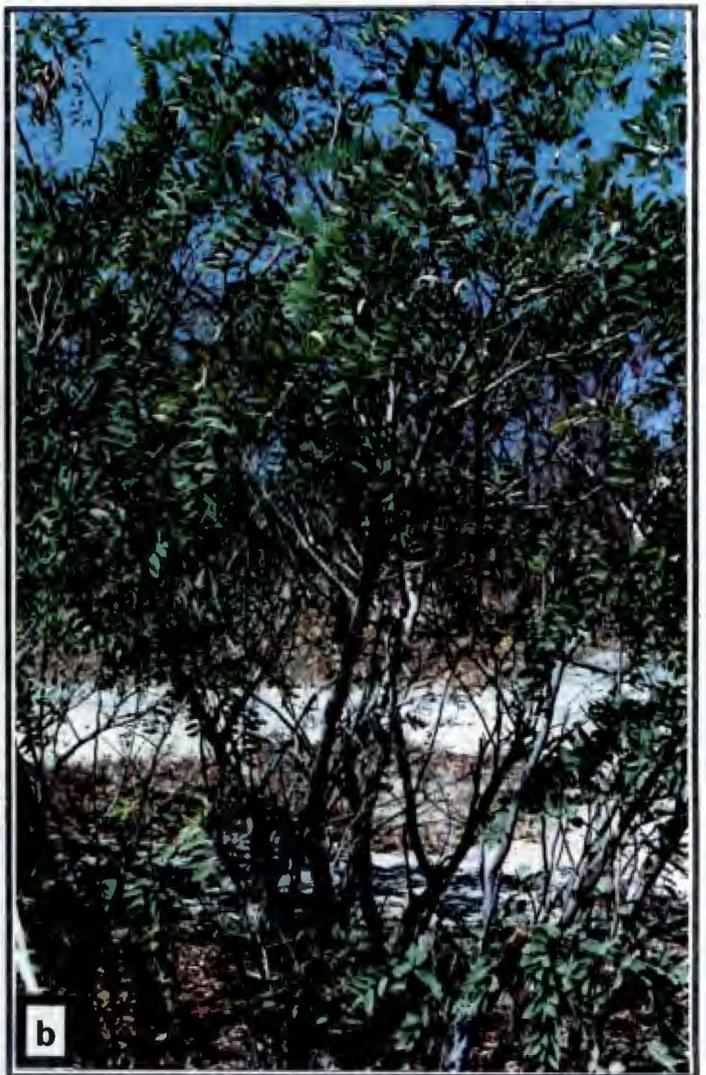
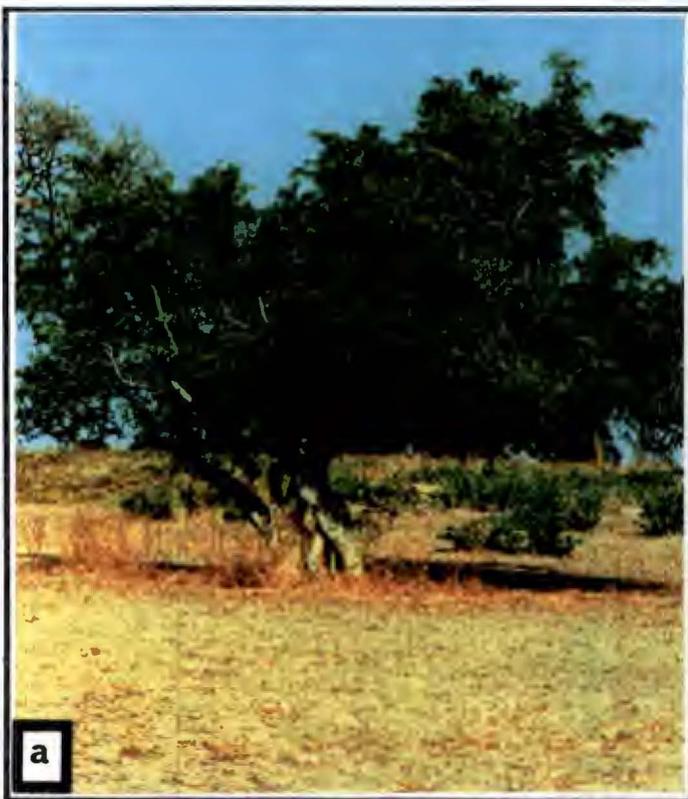


Figure 2: Plantes hôtes naturelles de *C. serratus*: (a), *Bauhinia rufescens* ; (b), *Cassia sieberiana* ; (c), *Piliostigma reticulatum* ; (d), *Tamarindus indica*.

l'arachide ; Caesalpinaceae: *Bauhinia rufescens* Lam., *Cassia arereh* Del, *Cassia sieberiana* DC., *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst., *Piliostigma thonningii* (Schum.) Milne-Redh., *Tamarindus indica* Linné ; Fabaceae: *Arachis hypogaea* L. Decelle (1987) cite les mêmes espèces mais ajoute *Bauhinia monandra* Kurz.

Ces hôtes\* de *Caryedon serratus* présentent des différences aussi bien par l'aspect des organes végétatifs, la structure des gousses (taille, couleur, présence ou non de pulpe ou de tissu fibro-ligneux, la disposition des graines) que par la taille et probablement la composition chimique des graines.

#### 1.4.1- *Bauhinia rufescens* Lam.

Les *Bauhinia rufescens* sont des arbustes que l'on rencontre dans les zones sahélo-sahariennes et sahéliennes (Fig. 2a). Ils mesurent quelques mètres de haut (entre 3 et 6 m) et portent des gousses aplaties, indéhiscentes, de couleur brun-rougeâtre. Les graines, approximativement cubiques, sont disposées en file. Le péricarpe épouse la forme de la graine et les isole par une ou deux (Fig. 3a).

#### 1.4.2- *Bauhinia monandra* Kurz

Grand arbuste ou arbre atteignant 15 m de hauteur, d'origine inconnue probablement néotropicale. Introduit au Sénégal comme plante ornementale, il est maintenant cultivé dans les régions tropicales et parfois rencontré comme échappé des cultures. Les gousses sont déhiscentes, linéaires et lisses (20 x 2 cm). Les graines sont aplaties, oblongues, noires et brillantes.

#### 1.4.3- *Bauhinia tomentosa* Linné

Arbuste dressé, atteignant 3 m de hauteur. L'espèce est originaire d'Asie tropicale, cultivée dans les régions tropicales comme plante ornementale. Les gousses sont déhiscentes, veloutées et linéaires (7-15 x 1-1,5 cm). Les graines sont aplaties, suborbiculaires avec environ 1 cm de diamètre.

\* La description des plantes hôtes sauvages de *C. serratus* est tirée en partie de Berhaut (1967) et de Maydell (1990)



Figure 3: Gousses et graines de: (a), *Bauhinia rufescens* ; (b), *Cassia sieberiana* ; (c), *Piliostigma reticulatum* ; (d), *Tamarindus indica*.  
g = gousses ; gr = graine

#### **1.4.4- *Cassia sieberiana* DC.**

Les *Cassia sieberiana* sont de petits arbres d'environ 10 m de hauteur que l'on rencontre surtout dans les zones sahélo-soudaniennes (Fig. 2b). Ils portent des gousses indéhiscentes, cylindriques, ligneuses, très longues (environ 40 à 80 cm), de couleur brun noir. Les graines ovoïdes sont disposées en une seule rangée, séparées entre elles par une mince cloison ligneuse (Fig. 3b).

#### **1.4.5- *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst.**

Il est aussi appelé *Piliostigma reticulata* ou *Bauhinia reticulata* (DC.). Les *Piliostigma reticulatum* poussent sous forme d'arbustes ou d'arbres dans les régions sahélo-soudaniennes (Fig. 2c). Les arbres portent de grandes gousses de couleur brun rougeâtre, aplaties, indéhiscentes à péricarpe dur et fendillé. Les graines ovoïdes sont dispersées régulièrement dans un tissu fibro-ligneux (Fig. 3c).

#### **1.4.6- *Piliostigma thonningii* (Schum) Milne-Redh**

Parfois appelé *Bauhinia thonningii* (Schum), ses caractéristiques sont quasiment identiques à celles de *Piliostigma reticulatum*. Il possède cependant des feuilles plus grandes à nervures rougeâtres sur la face inférieure. Les gousses ne sont pas fendillées ; leur surface est veloutée. On le rencontre dans les savanes boisées et les galeries forestières des régions soudano-sahéliennes et surtout soudano-guinéennes.

#### **1.4.7- *Tamarindus indica* Linné**

*Tamarindus indica* serait originaire d'Afrique tropicale et non pas d'Inde comme son nom l'indique. Son origine exacte est assez controversée. Les arbres sont souvent très grands (15 à 25m de haut) et produisent une grande quantité de fruits à usage culinaire et médicinal (Fig. 2d). Les gousses sont indéhiscentes, mauve clair et subcylindriques. Les graines de forme approximativement carrée sont disposées en file dans une épaisse pulpe brun foncé et sucrée à maturité (Fig. 3d).

*C. serratus* pourrait encore s'adapter à de nouvelles plantes en particulier dans les zones tropicales: des oeufs et des larves mortes au premier stade ont été observées sur *Detarium senegalensis* et *Prosopis africana* au Sénégal (Delobel *et al.*, 1995).

## I.5- PARASITOÏDES

Dans la nature différents Hyménoptères parasitoïdes appartenant aux genres *Bracon* et *Entedon* ont été relevés par Prevett (1966) sur *C. serratus* se développant sur des Caesalpiniaceae sauvages au Nigéria.

En Côte d'Ivoire, Rasplus (1988) décrit une nouvelle espèce de Pteromalidae, *Anisopteromalus caryedophagus*, ectoparasitoïde grégaire des larves et nymphes de *C. serratus*, séminivore de *P. thommingii*. Cette espèce est également signalée au Congo et au Niger.

C'est en 1989 que Gagnepain et Rasplus ont fait la revue bibliographique des parasitoïdes de *C. serratus*:

- un trichogramme *Uscana caryedoni* Viggiani qui se développe au dépend des oeufs de *C. serratus* et dont le parasitisme observé varie de 3% au début des pontes à 30,0 % durant la seconde phase de la ponte en janvier ;

- Anisopteromalus caryedophagus* Rasplus ; le parasitisme est difficile à évaluer, mais près de 90 % des cocons dans les pièges sont infestés ;

- Bracon* (*Ophthalmobracon*) sp. ; ce sont des ectoparasites s'attaquant fréquemment à *C. serratus* et dont la révision systématique n'est pas encore entreprise ;

- quelques espèces sporadiques: *Procomura serratocida* Rasplus et *Eurytoma caryedonicida* Rasplus.

L'utilisation possible de ces parasitoïdes en lutte biologique n'est pour l'instant qu'au stade de la réflexion ou des tests préliminaires au laboratoire.

## II- L'ARACHIDE

L'arachide (*Arachis hypogaea* L., Fabaceae) est une légumineuse herbacée annuelle dont les gousses se développent dans le sol. Celles-ci sont indéhiscentes et renferment une à trois graines. Cet oléagineux est, dans certains pays comme le Sénégal, une denrée d'exportation, source d'importantes rentrées de devises. De plus, les graines, riches en calories (50% de lipides, 25% de protéines), constituent un apport nutritif très important pour les populations locales.

### II.1- ORIGINE ET DISTRIBUTION

Comme de nombreuses autres plantes utiles telles que le maïs, la pomme de terre, le haricot, le tabac, le cacaoyer, l'arachide est originaire du Nouveau Monde. Mais, sans doute, en raison de sa moindre importance aux yeux des explorateurs de l'Amérique et des grands voyageurs, son origine et l'histoire de sa distribution dans le monde sont demeurées longtemps obscures.

L'hypothèse d'une origine africaine avancée par plusieurs auteurs du XIX<sup>ème</sup> siècle était essentiellement fondée sur les descriptions trouvées chez certains auteurs grecs (Theophraste et Plin) de plantes à fructification souterraine cultivées en Egypte et dans d'autres régions du bassin méditerranéen. On sait aujourd'hui que ces descriptions ne s'appliquaient pas à l'arachide et que le terme *Arakos* en particulier désignait *Lathyrus tuberosa* (Chevalier, 1935). De même, aucun argument valable ne peut être apporté en faveur de l'hypothèse d'une origine asiatique, non plus qu'en faveur d'une double origine africaine et américaine de la plante. Une preuve objective de l'origine américaine de l'arachide est constituée par la découverte de graines semblables à celles des variétés actuellement cultivées au Pérou dans les tombes précolombiennes à Ancon, Pachamac et autres lieux par Squier, vers 1875. D'autre part, bien que l'espèce cultivée ne soit pas connue à l'état sauvage, l'absence d'autres espèces du genre *Arachis* dans les autres parties du monde et leur abondante distribution dans une zone allant du Brésil à l'Argentine située approximativement entre les 10° et 35° de latitude Sud, confirment l'origine Sud-Américaine de la plante. On admet actuellement que celle-ci est originaire de la région du Grand Chaco incluant les vallées du Paraguay et du Parana (Gillier & Silvestre, 1969).

La dissémination de l'espèce aurait été d'abord, à l'époque précolombienne, le fait des Indiens comme cela a été le cas pour le maïs, le manioc, la patate douce...etc. L'arachide aurait ainsi gagné diverses régions de l'Amérique du Sud, les îles de la mer des

Antilles et probablement l'Amérique centrale et le Mexique. Les Portugais auraient ensuite introduit la plante au début du XVI<sup>ème</sup> siècle sur la côte occidentale d'Afrique. De leur côté, les Espagnols, à peu près à la même période, l'auraient introduite aux Philippines à partir de la côte Est de l'Australie. A partir de Ceylan ou de la Malaisie, elle aurait ensuite atteint Madagascar et la côte orientale. Ainsi, l'Afrique se trouverait être un lieu de rencontre de deux voies différentes de diffusion de l'espèce.

Bien que l'arachide ait été présente au Mexique et dans l'Archipel des Antilles à l'époque précolombienne et que des contacts eurent vraisemblablement lieu entre les Indiens de ces contrées et ceux des régions voisines des Etats-Unis, on ne dispose d'aucune preuve de l'existence de la plante dans ce pays à cette époque. On admet aujourd'hui qu'elle y ait été introduite à partir de la côte occidentale d'Afrique avec le commerce des esclaves.

L'origine et l'histoire de la diffusion de l'arachide dans le monde expliquent la grande diversité des types existant d'abord en Amérique du Sud et ensuite dans deux autres contrées du monde qui peuvent être considérées comme des centres de diversification secondaire de l'espèce. Ce sont d'une part la zone Philippines-Malaisie-Indonésie où l'on trouve un grand nombre de types différents appartenant principalement au groupe des "Valencia" et "Spanish" et de l'Afrique de l'Ouest de part et d'autre du 10<sup>ème</sup> degré de latitude Sud avec de nombreux types du groupe "Virginia".

## **II.2- PRATIQUES CULTURALES ET COMMERCIALISATION**

Les surfaces cultivées au Sénégal dépassent un million d'hectares (plus de la moitié des surfaces cultivables). Les rendements sont voisins de 1000 kg/ha, plus faibles dans le nord du pays où les précipitations sont de l'ordre de 420 mm (Louga) et plus fortes dans le sud avec 800 mm (Kaolack). Les ventes de gousses représentent au moins 50% du revenu des paysans qui constituent 70% de la population (Ndiaye, 1991). Les huiles et les tourteaux correspondent à plus de la moitié du total des exportations du pays ; enfin les fanes constituent un excellent fourrage qui fait l'objet d'un commerce local important mais difficilement chiffrable.

La culture de l'arachide se pratique sur l'ensemble du territoire, avec une prédominance au niveau du bassin arachidier qui s'étend sur plus de 600.000 ha. Il s'agit de la principale culture de rente dans la zone concernée ; de plus, une rotation faisant intervenir cette légumineuse avec des céréales (mil, sorgho ou maïs) contribue à éviter un appauvrissement excessif du sol.



Figure 4: Pratiques culturelles de l'arachide: (a), séchage en moyettes ; (d) séchage en meules; (c), battage.

Les gousses d'arachide sont généralement déterrées à maturité dès la fin des pluies (octobre ou novembre), et la teneur en eau des gousses est alors élevée, de l'ordre de 40 à 50% (Gillier & Bockelée-Morvan, 1979). Il est nécessaire d'effectuer un séchage sur le champ avant de pouvoir faire le battage.

Au Sénégal où le battage est essentiellement manuel, le séchage constitue un élément sensible du système post-récolte et doit être prolongé jusqu'à l'obtention d'une teneur en eau inférieure à 10%. L'arachide reste dispersée sur le champ 2 à 7 jours après arrachage. Elle est ensuite rassemblée en petits tas (moyettes) (Fig. 4a) durant 2 à 3 semaines avant d'être réunie en meules (Fig. 4b). Celles-ci resteront au champ pendant trois semaines au cours desquelles divers insectes peuvent les attaquer. Ce système de séchage permet d'éviter le développement des moisissures sur les gousses (séchage par pied d'abord et moyettes ensuite) et empêche la dispersion des gousses d'arachide lors du battage (meules) (Fig. 4c).

Après le battage (novembre ou décembre), une partie de la récolte est conservée par le paysan pour constituer ses semences de l'année suivante. Le mode de stockage est variable selon les zones et la quantité de la récolte. Le plus répandu est sous forme de sacs en jute ou polypropylène tressé, entreposés les uns sur les autres dans un coin de la maison ou dans des greniers faits en paille de mil. La durée de stockage de l'arachide destinée à la commercialisation est généralement courte ; la campagne agricole commence environ deux semaines après le battage.

L'essentiel des récoltes est commercialisé dans les coopératives villageoises, où le stockage se fait en vrac dans des "seccos", terme local au Sénégal qui désigne les monticules en plein air pouvant rassembler plus de 10.000 tonnes d'arachides, et limités à la base par un mur de sacs remplis d'arachides.

Après 2 à 3 mois de stockage dans les seccos, interviennent la collecte et l'évacuation, d'abord sur des "centres de groupage" à proximité d'une gare, ou généralement directement vers les huileries où elles peuvent passer plus d'une année en stocks couverts de bâches.

Environ 50% de la production nationale est ensuite exportée vers le marché de l'Union Européenne.

### II.3- VARIETES ET SELECTION

Les caractères héréditaires indépendants des facteurs du milieu qui se sont révélés les plus utiles pour distinguer les diverses variétés d'arachide sont la dimension et la forme des gousses, leur ornementation, le nombre de graines par gousse et la couleur du tégument séminal.

La dimension des gousses varie considérablement. On désigne par très grosses gousses celles dont le diamètre est de plus de 20 mm, par gousses moyennes celles dont le diamètre est compris entre 10 et 15 mm, et par petites celles dont le diamètre est inférieur à 10 mm. La dimension des gousses peut être appréciée par le poids de cent gousses qui varie approximativement entre 80 et 250 g.

Les gousses présentent une ou plusieurs constrictions ou ceintures séparant les graines. La ceinture peut être plus ou moins marquée, ventrale ou dorsale. L'absence de ceinture s'accompagne généralement de graines présentant une partie plate au contact de la graine voisine. Les gousses à ceinture profonde donnent au contraire des graines de forme régulière.

A son extrémité distale, la gousse peut être de forme ronde ou, au contraire, s'aplatir pour former une crête sur la ligne de suture des deux valves (forme en cimier). Ce caractère s'accompagne souvent de la présence d'un bec qui peut être de forme variée. L'ornementation de la gousse qui résulte de la mise à nu du tissu mécanique du mésocarpe dessine des réticulations (réseau), plus ou moins accentuées ou de forme particulière, anastomosées ou non. Enfin la couleur du tégument séminal permet de préciser la distinction des variétés.

L'examen attentif des particularités des caractères de gousses ou de graines énumérés ci-dessus permet généralement de reconnaître sans erreur une variété donnée. La version actuelle de la classification agronomique des principaux types variétaux d'arachide, utilisée au Centre de Recherche Agronomique de Bambey au Sénégal résulte des travaux de Bouffil & Sauger (1949), Catherinet (1955) et Mauboussin (travaux non publiés).

Par ailleurs, on a souvent fait état des améliorations relativement faibles apportées par les travaux de sélection au niveau de l'arachide ( Gregory *et al.*, 1951 ; Seshadri, 1962). Ceci a été attribué, soit à la nature polyploïde de l'arachide -mais aucune preuve nette n'en a été apportée et l'on a pas encore mis en évidence de caractères à hérédité tétraploïde -soit à l'isolement des chercheurs et à leur faible nombre jusqu'à une époque relativement

récente. Enfin, et c'est sans doute l'explication la plus vraisemblable, la culture de l'espèce, extensive dans la plupart des pays et souvent limitée à des régions pauvres en raison de sa rusticité, ne permet pas toujours l'expression des qualités des variétés nouvelles.

Au Sénégal, la sélection de l'arachide a débuté en 1924 à partir de populations localement cultivées, puis s'est poursuivie, de 1959 à 1982, avec de nouvelles introductions étrangères et en faisant appel aux techniques de l'hybridation (Vieira Da Silva, 1988). Diverses variétés, à durée de cycle de développement adaptée à chacune des zones écologiques, ont été sélectionnées par la recherche agricole (I.S.R.A-I.R.A.T), et progressivement mises en place du Nord au Sud selon les caractéristiques des zones (Anonyme, 1982).

Les variétés actuellement cultivées au Sénégal sont du Nord au Sud: les variétés érigées hâtives du groupe Spanish 28-206 (Mamou 2 graines) et 55-437 (Mamou 3 graines), la variété rampante semi tardive 47-16 (Baol), la variété érigée tardive 73-33 (Saloum) qui représente près de la moitié des semences distribuées et la variété GH 119-20 (arachides de bouche). Cependant, la réduction de la pluviosité moyenne générale et de la longueur du cycle des pluies depuis quelques années (Vieira Da Silva, 1988) posent de nouveaux problèmes à la culture de l'arachide, et expliquent l'intégration dans les critères de sélection, de paramètres physiologiques d'adaptation ou de tolérance à la sécheresse. C'est pourquoi les recherches ont porté et se poursuivent sur la résistance à la sécheresse et la création de variétés ou de lignées utilisant plus favorablement l'eau (Ndiaye, 1991).

La sécheresse se manifeste au Sénégal sous différentes formes:

-La période des pluies s'est considérablement réduite au cours des dernières années. Les variétés adaptées doivent achever leur cycle à l'intérieur de la courte période humide (parfois moins de 3 mois) et doivent être particulièrement précoces. Ces conditions prévalent au Sénégal, dans la partie nord du bassin arachidier (région de Louga), qui est devenue impropre aux variétés existantes, leur cycle étant trop long.

-On observe des interruptions aléatoires pendant la période humide. C'est le cas typique des régions centre-sud du Sénégal où les variétés doivent présenter des caractères physiologiques de résistance leur permettant de supporter sans dommages irréversibles les périodes sèches occasionnelles.

## II.4- ENNEMIS DES CULTURES ET DES STOCKS

La particularité de l'arachide à former ses gousses dans le sol la protège, jusqu'à l'arrachage, des attaques des ravageurs à l'exception des iules (Myriapodes) et des insectes du sol tels que les termites (Isoptères) (Gillier & Silvestre, 1969).

Les iules apparaissent dès les premières pluies et sont susceptibles de ronger les graines qui viennent d'être semées. Après la germination, elles coupent l'axe hypocotylé. La blessure ainsi occasionnée est une ouverture aux moisissures ; les attaques cessent dès l'apparition des premières branches (Risbec, 1950 ; Biernaux, 1965).

Les termites perforent la gousse presque mûre au niveau de la dépression qui représente l'ancienne insertion du style. Seule est touchée la graine proche de l'orifice ; lésion peu importante, mais suffisante pour provoquer un flétrissement et la dessiccation du fruit. Quand le fruit est mûr et la coque desséchée, le termite ne peut plus perforer la coque; il ronge seulement la surface sans atteindre la graine. Quand l'eau diminue dans le sol, il recherche dans le fruit l'humidité dont il a besoin, d'où la présence de dégâts plus importants en année sèche. Notons que les *Microtermes* attaquent aussi les racines de la plante d'arachide en Côte d'Ivoire (Han, *in litt.*).

Le puceron *Aphis craccivora* et la punaise *Aphanus sordidus* sont signalés comme fréquents. Les adultes et jeunes *A. sordidus* se nourrissent en perforant les gousses d'une piqûre très fine ne laissant pas de trace, mais l'amande se dessèche par suite de la perte de son huile (Appert, 1957 et 1985), et les graines piquées en se desséchant prennent un aspect ridé, et un mauvais goût à la consommation.

Trois chenilles font des dégâts sur le feuillage et attaquent l'arachide de façon sporadique (*Amsacta moori* ou *albistriga*, *Diacrisia obliqua*, *Stomopteryse nerteria*).

Les Thrips, en particulier *Heliethrips indiens* provoquent des malformations sur les plantes.

Divers rongeurs occasionnent des pertes de récoltes au champ durant le long séchage. Leur importance et diversité spécifique sont variables, mais deux principaux sont signalés: l'un diurne, le rat palmiste (*Xerus erythropus*), l'autre nocturne, le rat de Gambie (*Cricetomys gambianus*) (Hubert, 1977 *in* Ndiaye, 1991).

La bruche de l'arachide, *Caryedon serratus* (Ol.), reste le parasite le plus redoutable de l'arachide stockée. Ses dégâts varient selon les types de stocks, leur destination et la durée du stockage. Les études menées sur ce sujet ont été conduites pendant longtemps au Sénégal par l'I.R.A.T. (actuelle C.I.R.A.D.) et ont porté essentiellement sur les grands stocks commerciaux ou huiliers. Pointel & Yaciuk (1979) notent que l'infestation par *C. serratus*, après trois mois de conservation d'un stock expérimental (de 18 tonnes), s'observe essentiellement à sa périphérie, à quelques centimètres de la surface, ainsi qu'à la base. Gillier & Bockelée-Morvan (1979) précisent que la bruche de l'arachide occasionne dans les stocks des pertes quantitatives qui évoluent rapidement en passant de 8 à 40% en six mois ; les pertes sont plus limitées pour des stocks de plusieurs milliers de tonnes, les couches superficielles étant plus attaquées que l'intérieur du stock. L'origine des contaminations leur était inconnue. En Gambie, Friendship (1974) a estimé qu'environ 3% de la production d'arachides est annuellement détruite par *C. serratus*. Les attaques observées peuvent aller jusqu'à 83% après 4 mois et demi de stockage dans les centres de commercialisation (Ndiaye, 1991).

Certains auteurs dont Cancela Da Fonseca (1964) ont remarqué que les arachides en coques sont plus vulnérables à la bruche, et sont attaquées à 60-90%, contre 30 à 70 % pour les arachides décortiquées. D'autres auteurs (Gillier & Bockelée-Morvan, 1979) estiment par contre que les semences d'arachide sont plus vulnérables à *C. serratus* lorsqu'elles sont conservées en graines.

L'incidence des dégâts chez le paysan est en fait mal connue ; très peu de travaux ont porté sur le sujet. Conway (1975) a observé après 16 semaines de stockage, des taux d'attaques de semences paysannes passant de 0,78% à 43% ; dans certains villages, les attaques atteignent même 100%. Au Congo, Matakot *et al.* (1987) relèvent des pertes quantitatives de poids à l'issue de neuf à dix mois de stockage, variant de 9,3% dans un village à 62,8% dans un autre, et principalement dues à la bruche de l'arachide.

## II.5- PROTECTION DES STOCKS CONTRE *C. SERRATUS*

Certains paysans utilisent des plantes à effet insecticide telles que *Azadirachta indica*, *Boscia senegalensis*, *Datura* sp., *Malpighia alternifolia*... etc (Ndiaye, 1991). Ces plantes semblent globalement peu efficaces car les résultats sont très peu reproductibles en stocks réels et n'empêchent pas l'évolution des attaques par *C. serratus*. C'est pourquoi, des chercheurs ont tenté de mettre au point des méthodes de protection modernes. Leurs études ont porté sur l'utilisation de méthodes physiques, chimiques et biologiques.

La conservation par le froid, parfois utilisée, ne peut être envisagée que dans des cas exceptionnels (arachide de bouche décortiquée, stocks de semence de sécurité) étant donné son coût très élevé. De même, l'ensilage hermétique est très efficace mais peu pratique et entraîne une diminution de la faculté germinative des graines. L'utilisation de poudres inertes abrasives semble prometteuse au niveau de petits stocks ; des essais réalisés avec l'attapulgite à raison de 5g/kg d'arachide décortiquée, montrent une excellente efficacité (Ndiaye, 1991). L'irradiation des grains a été utilisée contre la bruche du Niébé. Elle permet de tuer les oeufs et les larves de premier stade ; les adultes survivent tout en donnant des descendants anormaux (Balachowsky, 1962).

Appert (1954 et 1958) a testé l'efficacité de divers organochlorés: DDT (Dichlorodiphényl-trichlorétane), HCH (Hexachlorocyclohexane), Lindane, Aldrine, Dieldrine et a obtenu les meilleurs résultats avec la Dieldrine et le HCH. Ces produits présentent des inconvénients sanitaires que l'on ignorait à l'époque. De plus, même si les attaques étaient tant soit peu atténuées, elles étaient toujours présentes dans les stocks. La fumigation de la récolte est très efficace et peut être réalisée dans des installations fixes mais ce traitement n'est pas rémanent.

Des essais de lutte biologique contre *C. serratus* ont été initiés par Delobel (1989b). Cet auteur a étudié au laboratoire la biologie du trichogramme *Uscana caryedoni* qui parasite les oeufs de la bruche de l'arachide mais conclut que "*l'utilisation de ce parasite dans un programme de lutte biologique n'est pas envisageable...bien qu'il intervient comme agent efficace de limitation des populations de C. serratus*".

Plusieurs facteurs expliquent les échecs relatifs des traitements, particulièrement au niveau paysan: faible pouvoir pénétrant des formulations insecticides utilisées, traitements tardifs, n'ayant lieu qu'en stocks avec une méconnaissance totale de la dynamique de contamination et du cycle global du ravageur. D'autre part, les travaux sur la question présentent *C. serratus* comme "ravageur de stocks" alors que la contamination a souvent déjà eu lieu au moment du séchage et que l'insecte se trouve abrité et se développe dans les graines.

L'efficacité des moyens de lutte semble incontestablement liée à la connaissance de l'origine et de l'évolution de la dynamique de l'infestation primaire de l'arachide. Ceci permettra de détecter les moments où le ravageur est plus accessible et vulnérable, en particulier avant son installation dans les gousses.

# **MATERIEL ET METHODES**

## I- CADRE D'ETUDE

Le Sénégal est compris 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 km<sup>2</sup>. Les régions phytogéographiques naturelles sont essentiellement déterminées par la pluviosité. La zonation nord-sud des isohyètes permet de distinguer les régions sahélienne, soudanienne et guinéenne. A cheval entre deux grandes régions, se situent des domaines intermédiaires: sahélo-soudanien, soudano-sahélien, soudano-guinéen et guinéo-soudanien. On distingue une façade maritime appelée zone côtière, soumise aux influences océaniques (Fig 5).

Au Nord, dans la région sahélienne (s.s.), où la saison des pluies dure à peine trois mois (pluviosité annuelle < 300 mm), le paysage est constitué de prairies estivales composées essentiellement d'herbes annuelles. Une végétation arbustive ou arborée existe également, mais elle ne dépasse guère 5 à 6 m avec quelques arbres atteignant 8 à 10 m. Les espèces dominantes sont *Acacia raddiana*, *A. senegal*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, *Ziziphus mauritiana*, *Capparis decidua*, *Leptadenia spartium*, *Chloris prieuri*... etc.

Dans le domaine sahélo-soudanien (500 à 700 mm de pluie) commencent à apparaître des espèces soudanaises (*Sterculia* spp., *Adansonia digitata*, *Bombax costatum*...etc.). Les herbes annuelles sont dominantes mais beaucoup de graminées vivaces occupent le sol.

Les herbes et arbres soudanais dominent dans le domaine soudano-sahélien (pluviosité comprise entre 700 et 900 mm). Quand la pluviosité atteint 1000 mm, la physionomie générale du paysage est celle d'une forêt sèche composée d'arbres à feuilles caduques tombant de novembre à mai.

Des climats locaux et des sols différents rompent l'homogénéité de ces trois grandes divisions et font apparaître des formations variées. Par exemple, le long de la côte nord, entre Saint-Louis et Dakar où soufflent pendant six mois les alizés du nord, frais et humides, on trouve des steppes à graminées piquetées d'*Acacia raddiana* et *A. albida* dans les sols sableux (Les Niayes). Au sud de Dakar et jusqu'à la Guinée Bissau, les estuaires envasés sont bordés de mangroves à palétuviers. Ailleurs, dans les sols humides à faible profondeur, se développent des roncraies, palmeraies à *Borassus aethiopicum*.

---

\* Les caractéristiques générales sont tirées pour l'essentiel de Kerharo & Adam (1974).

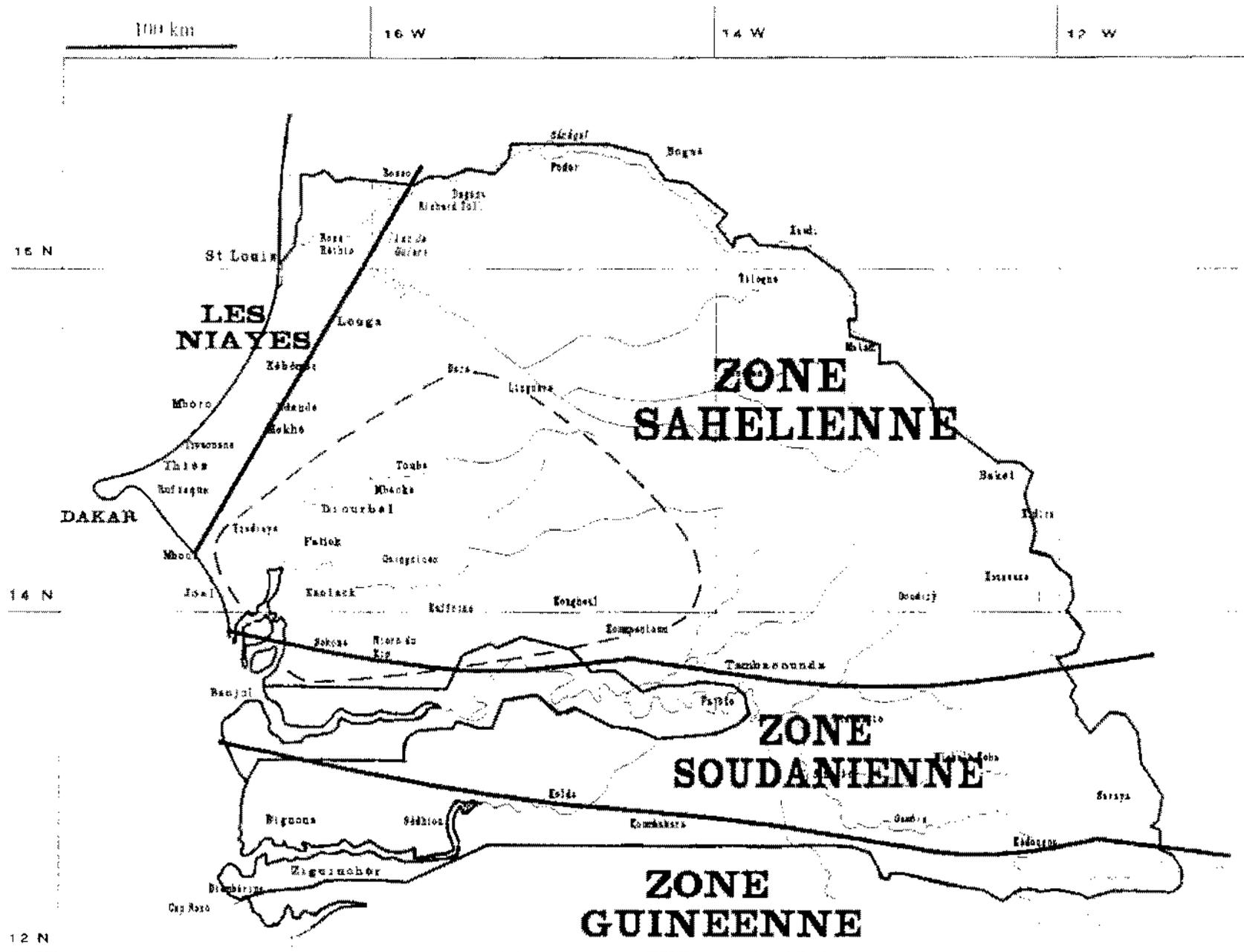


Figure 5. Zonas climáticas e principais vilas do Senegal (Kerharo & Adam, 1974).

-----: limites aproximativos do bassin arachidier

Les températures maximales notées au Sénégal peuvent être élevées. 48°C sont observés couramment en saison sèche, dans la zone sub-désertique de Matam, située à l'ouest du fleuve Sénégal. Les écarts thermiques, déjà notables dans la partie occidentale du pays, tendent à s'accroître encore davantage vers les régions est et sud: de 22 à 34 °C à Thiès et de 20 à 40 °C à Tambacounda, ville située au sud-est du Sénégal.

Notre principal site d'étude se trouve à Keur Baka, village situé dans la commune de Ndoffane (département de Kaolack) au coeur du bassin arachidier. Ce milieu se trouve dans le domaine soudano-sahélien. Il est marqué par une longue période de saison sèche (de novembre à juin) et une saison des pluies (de juillet à octobre). Les hauteurs de pluies sont de 800 mm en moyenne mais leur répartition et la quantité d'eau tombée peuvent être très différentes d'une année à l'autre ( $\pm 100$  mm). La saison sèche est chaude (moyenne des maxima: 32 °C), l'humidité relative est faible dans la journée (10 à 30%) mais augmente dans la nuit pour atteindre son maximum le matin (80 à 100%). Les vents dominants sont les alizés continentaux chauds et secs (harmattan). La saison des pluies est caractérisée par une amplitude thermique journalière bien plus faible et une humidité relative plus élevée et relativement constante (80 à 100%). Les moussons, vents d'ouest et sud-ouest, dominent alors largement et sont responsables des précipitations.

On distingue essentiellement deux types de sols à Keur Baka: des sols rouges et des sols beiges.

Les sols rouges sont des formations ferrugineuses tropicales lessivées plus ou moins remaniées, formées sur matériaux dunaires. En raison des faibles proportions en argile et matière organique, ils sont caractérisés par des capacités de stockage de l'eau et des cations faibles. Ils sont peu profonds et parsemés de taches de concrétions de fer et d'aluminium, à taux d'acidité très élevé du fait de leur très faible teneur en calcaire assimilable.

Les sols beiges sont des sols ferrugineux tropicaux, lessivés, parfois hydromorphes sur matériaux des basses plaines. Ils se rapprochent des "dior" par leur texture sableuse en surface et sont également peu riches en éléments minéraux.

La végétation est de type soudano-sahélien, caractérisée par la présence d'espèces très diversifiées. Les herbes annuelles coexistent avec quelques arbres et arbustes.

Dans les zones défrichées et cultivées (arachide, mil et maïs essentiellement), il ne subsiste de la savane arborée qu'une strate arbustive assez développée par endroit et des

arbres dispersés. Les espèces végétales préservées, le sont pour leur utilité directe ou indirecte (alimentation des hommes et du bétail, fibre, ombrage, fertilisation des sols, médecine traditionnelle,...) pour les populations locales. Les arbres les plus fréquents sont: *Adansonia digitata*, *Tamarindus indica*, *Detarium senegalensis*, *Detarium microcarpum*, *Cassia sieberiana*, *Cordyla pinnata*, *Piliostigma reticulatum*, *Piliostigma thonningii*, *Bauhinia rufescens*, *Prosopis africana*, *Parkia biglobosa*...etc.

Dans la strate arbustive, les espèces dominantes sont *Cassia occidentalis*, *Cassia obtusifolia*, *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*.

Le tapis herbacé au sol est composé essentiellement d'espèces annuelles dominées par les graminées, se desséchant à partir du mois de Novembre ; les genres les plus courants sont *Aristida*, *Chloris*, *Chenchrus*, *Eragrostis*, *Schoenfeldia*,...

La plupart des arbres et arbustes ont des feuilles qui apparaissent pendant la saison des pluies et qui tombent plus ou moins tôt dans la saison sèche. La floraison a généralement lieu en saison des pluies ou au début de la saison sèche, elle est suivie de la fructification.

La détermination et le suivi de l'évolution de l'infestation de l'arachide sont étudiés dans ce site où la culture de cet oléagineux est intensive et où coexistent les différentes plantes hôtes sauvages de *Caryedon serratus*.

## II- DYNAMIQUE DE CONTAMINATION DE L'ARACHIDE PAR *C. SERRATUS*

### INTRODUCTION

La connaissance précise de la dynamique de contamination permet de situer le début de l'infestation primaire et d'intervenir pour l'empêcher ou l'atténuer car le polyvoltinisme de *C. serratus* amplifie considérablement les dégâts dès lors qu'une primo-infestation s'est déjà installée.

L'objectif de cette étude est donc de déterminer d'une part, le moment précis où se produit l'infestation de l'arachide et d'autre part, d'estimer les populations de *C. serratus* et les dégâts qu'elles occasionnent sur l'arachide en séchage au champ à partir de l'analyse au laboratoire d'échantillons de gousses prélevés en milieu paysan. Il existe une bibliographie abondante sur les méthodes de choix des différentes unités d'échantillonnage pour une étude de ce type (Drew *et al.*, 1978 ; De Lima, 1979 ). Le choix du village, des parcelles comme de la variété d'arachide ne s'est fait de façon ni aléatoire, ni représentative ; il a, dans une certaine mesure, été fait en fonction des objectifs que nous avons définis ("field test"). Notre objectif n'était pas de faire, en effet, une étude précise des pertes à l'échelle régionale. De tels chiffres seraient coûteux, longs et difficiles à obtenir, et on a de toute façon plus besoin d'informations sur des situations précises pouvant permettre une globalisation, que des moyennes régionales ou nationales. Ceci nous a conduit à fonder notre démarche sur des études de cas localisées, faisant l'objet d'un suivi périodique et régulier à partir du séchage au champ et jusqu'après 2 semaines de stockage. Ce type d'opération peut donner des renseignements suffisamment fiables sur les niveaux d'infestation et leurs causes pour servir de bases solides à des activités ultérieures visant leur réduction (Adams, 1977).

Ainsi, pour la dynamique d'infestation de l'arachide en séchage au champ, un seul village situé au coeur du bassin arachidier a été choisi. Les critères de choix des parcelles cultivées, pour la comparaison des paramètres étudiés, ont porté notamment sur la variété d'arachide cultivée, l'emplacement de la parcelle par rapport aux plantes hôtes de *C. serratus*, l'existence de dispositifs ou pratiques spéciaux de stockage.

Par ailleurs, nous avons voulu examiner sur une zone géographique plus large, par des observations ponctuelles et des prélèvements uniques, les relations existant entre la répartition géographique des légumineuses hôtes de *C. serratus* et les niveaux d'infestation de l'arachide au Sénégal. Les expérimentations faites jusqu'ici pour mettre en évidence le

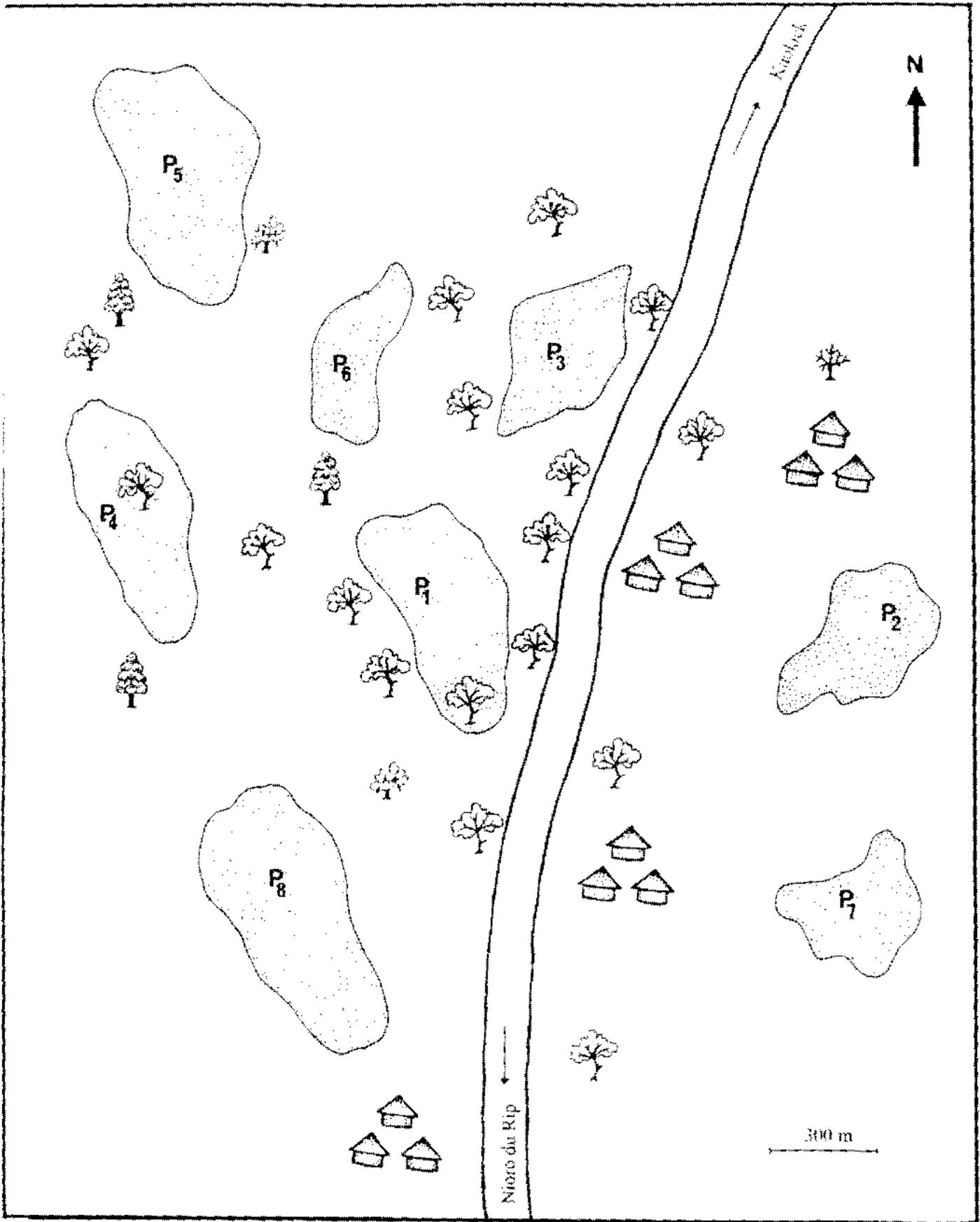


Figure 6: Le site d'étude à Keur Baka, position des parcelles d'arachides (P) et des plantes hôtes naturelles de *C. serratus*

- |  |   |
|--|---|
|  : Parcelles            |  : Habitations             |
|  : <i>B. rufescens</i>   |  : <i>T. indica</i>        |
|  : <i>C. sieberiana</i> |  : <i>P. reticulatum</i> |

rôle des hôtes naturels de *C. serratus* dans l'infestation de l'arachide, se sont déroulées dans des micro-biocénoses qui présentent chacune, des caractéristiques particulières.

## **II.1.- MATERIEL**

### **II.1.1- Les parcelles**

Huit (8) parcelles d'arachide (P<sub>1</sub> à P<sub>8</sub>), cultivées par des paysans du village de Keur Baka, ont été suivies, des semis à la récolte. Leur superficie varie de 1 à 1,5 ha. Des Caesalpiniaceae hôtes sauvages de *C. serratus* (*Bauhinia rufescens*, *Cassia sieberiana*, *Piliostigma reticulatum* et *Tamarindus indica*), bordent ou poussent à l'intérieur des parcelles choisies. Les champs P<sub>2</sub>, P<sub>7</sub> et P<sub>8</sub> sont les plus éloignés des plantes hôtes (Fig. 6).

### **II.1.2- Les variétés d'arachide**

Dans les parcelles P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, la variété d'arachide cultivée est du type 73-33. Elle est tardive et présente une ramification alterne et un port érigé. Les gousses sont moyennes (110-160g), présentent un réseau effacé et contiennent très souvent 2 graines par gousse. Son cycle végétatif, des semis à la récolte, est d'environ 100 jours. C'est la variété la plus cultivée au Sénégal. Elle est bien adaptée aux régions de la zone sahélo-soudanienne et soudano-guinéenne. La plus grande partie de la récolte de cette variété est destinée à l'exportation.

L'arachide de bouche (GH 119-20) localement appelée "Guerté Niaye" est cultivée dans chacune des parcelles P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub>, P<sub>7</sub> et P<sub>8</sub>. C'est une variété à ramification alternée. Les gousses (150-200g) contiennent chacune 2 graines. Elles présentent un réseau net. La ceinture et le bec sont très effacés. Son cycle végétatif est voisin de celui du type 73-33. La majeure partie des récoltes de cette variété est destinée à la consommation locale.

## **II.2- METHODES**

### **II.2.1- Infestation de l'arachide au champ**

#### **II.2.1.1- Echantillonnage**

Les arachides, semées en fin Juin 1995, ont été récoltées entre le 17 et le 27 octobre de la même année. Les pieds déterrés ont été mis en andains deux jours après, puis

laissés exposés au soleil environ 3 semaines pour ensuite être rassemblés en meules, après la période des brumes matinales, pendant 3 semaines. Le battage, l'égoussage et le stockage en sacs ont lieu fin novembre. Les arachides mises dans des sacs en polypropylène tressé sont entassées dans des greniers. Seules les arachides des parcelles 4 et 5 ont été stockées en vrac dans des greniers faits en paille de mil.

Des prélèvements de gousses ont été faits à chaque étape des itinéraires techniques précités. Quatre jours après le déterrage, un échantillon de quatre kilogrammes d'arachides (environ 1000 gousses) a été prélevé sur chaque parcelle. Ces prélèvements sont répétés une fois par semaine au champ jusqu'à 35 jours après la récolte et ensuite dans les sacs en polypropylène tressé et dans les greniers.

Les gousses sont ramenées au laboratoire dans des sacs en polypropylène tressé neufs et étanches et sont conservées dans une pièce aérée du laboratoire dont la température ambiante suit les fluctuations de la température extérieure. Chaque échantillon est gardé pendant au moins 2 mois pour contrôler le niveau d'infestation par *C. serratus*. La teneur en eau des gousses de chaque échantillon est déterminée au début et à la fin de l'expérience.

Nous avons évité un prélèvement d'un nombre trop important de gousses, de façon à ne pas modifier la dynamique des populations de *C. serratus*.

#### **II.2.1.2- Paramètres analysés**

Nous avons d'abord examiné à partir de quel niveau minimum d'infestation au champ la contamination va s'installer et se poursuivre en stocks. Ensuite précisé l'influence de l'infestation primaire sur l'évolution de la contamination au champ, sans possibilité de réinfestation d'origine extérieure ou de sortie des adultes et des larves de quatrième stade (L<sub>4</sub>) de ces échantillons. Dans ces conditions, la contamination de chaque échantillon ne dépendra que de l'infestation initiale dans le champ et des générations ultérieures qui réinfesteront leur propre stock.

L'évolution de divers indicateurs des dégâts a été mesurée par analyse graphique:

- Le pourcentage d'oeufs présents sur chaque échantillon (fraîchement déposés, éclos, stériles ou morts).

- Le nombre de gousses infestées, c'est-à-dire présentant des oeufs et/ou des trous d'émergence d'adultes ou de larves de *C. serratus*.

- Le nombre d'adultes émergés des gousses. Les nymphes sont dénombrées comme étant des adultes.

- Le taux de mortalité (embryonnaire et larvaire) est défini comme étant le rapport entre la différence du nombre de total d'oeufs moins le nombre d'adultes émergés et le nombre d'oeufs total pour chaque échantillon.

- Le pourcentage de perte pondérale (PP). Les pertes en poids sont quantifiées uniquement sur les échantillons prélevés au dernier jour de séchage (35<sup>ème</sup> jour) et conservés pendant deux mois au laboratoire. Ceci pour déterminer la perte quantitative de l'arachide ayant seulement subi l'infestation initiale, qui se produit au champ. Les pertes sont estimées de la manière suivante:  $PP = ((P_i - P_f)/P_i) \times 100$ , où  $P_i$  est le poids sec initial de l'échantillon,  $P_f$ , le poids sec final du même échantillon.

Le test de Newman-Keuls est utilisé pour comparer l'évolution de l'infestation entre variétés. Dans les graphiques, les valeurs suivies d'une même lettre alphabétique sont statistiquement égales. Le test exact de Fisher nous a permis de comparer l'évolution de certains paramètres entre les parcelles.

Cette étude a été élargie par des observations et des expériences tendant à clarifier certains points encore non élucidés de la biologie et de l'écologie de la bruche de l'arachide.

Nous avons voulu déterminer la forme sous laquelle les *C. serratus* qui infestent l'arachide nouvellement récoltée, subsistent dans la nature, durant la saison hivernale. Pour cela, nous avons conservé au congélateur des gousses des différentes plantes hôtes, pendant 4 mois, pour éliminer toute infestation cachée. Ces gousses ont été ramenées à température ambiante et accrochées aux divers arbres hôtes au milieu (août) et à la fin (octobre) de la saison des pluies.

En même temps, des pièges constitués de cartons ondulés ont été attachés sur les branches, à proximité des gousses, pour capturer éventuellement des adultes de *C. serratus*. Pour chaque espèce de plante hôte, deux arbres sont choisis ; l'un à proximité du village et l'autre à 3 à 4 km des greniers. Un seul arbuste de *B. rufescens* est présent dans cette zone.

De plus, à chacune des missions effectuées durant l'hivernage, nous avons tamisé le sable sous la canopée des plantes hôtes de *C. serratus* à la recherche d'éventuels cocons de la bruche. Nous avons aussi cherché des adultes de *C. serratus* sous les craquelures de l'écorce des arbres hôtes.

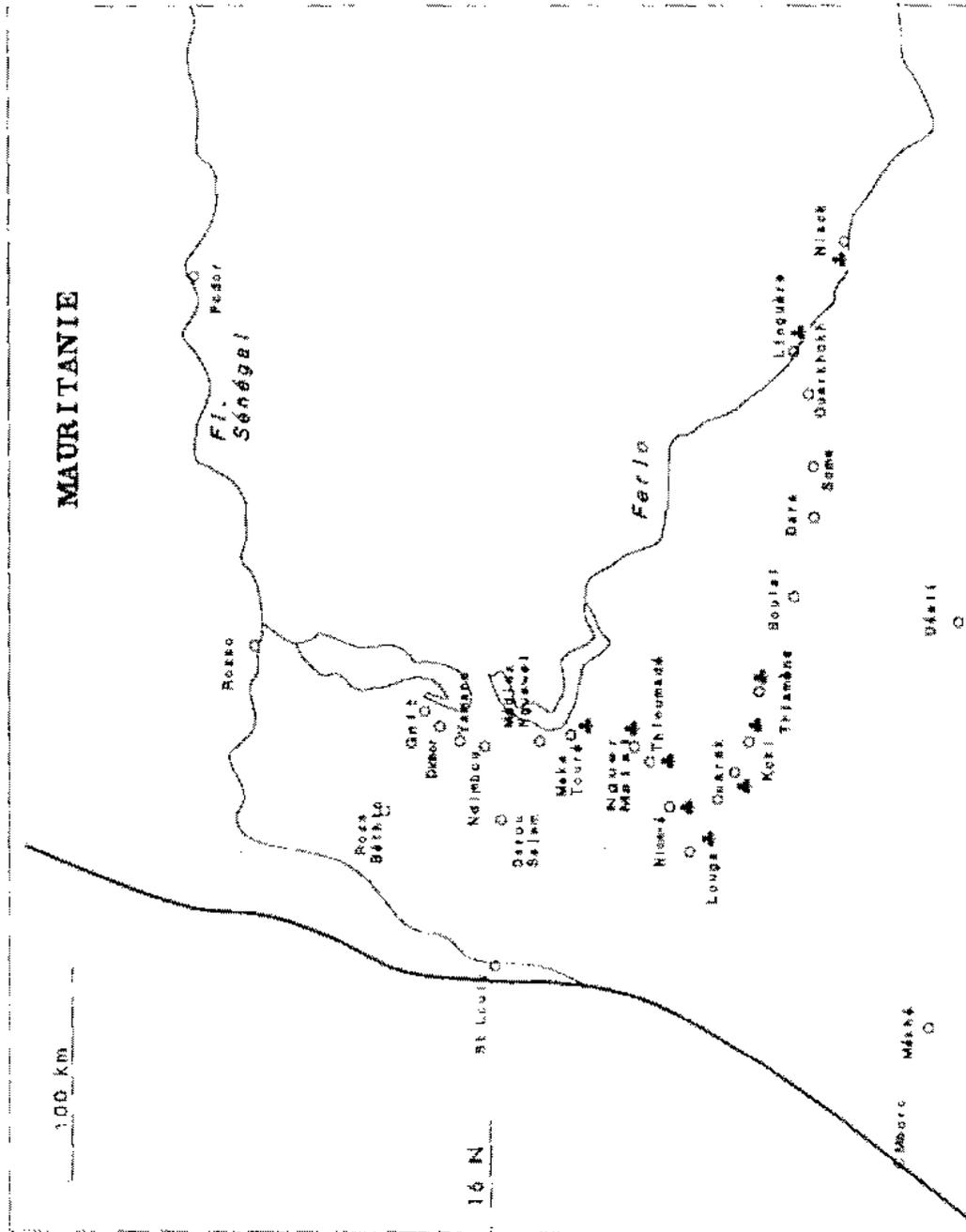


Figure 7 : Localités prospectées aux environs de la limite nord de *P. reticulatum*.

▲ - - Présence de *P. reticulatum*

## 11.2.2- Prospection géographique

Une tournée de prospection partant de la limite Nord de l'aire de distribution des plantes hôtes naturelles de *C. serratus*, a été effectuée du 02 au 09 Avril 1996, après la récolte de l'arachide et au moment où le développement de *C. serratus* est le plus important. Au total 21 localités ont été prospectées : 12 dans l'axe Richard-Toll-Louga et 9 dans l'axe Louga-Barkédji (Fig. 7).

Chaque rencontre avec les paysans autour du chef de village fut l'occasion d'un questionnaire portant essentiellement sur la variété d'arachide cultivée, la méthode de conservation des semences, la date de récolte, le mode de séchage et de stockage, la présence ou l'absence de *C. serratus* et de ses plantes hôtes dans la localité et enfin sur d'éventuelles mesures prises en vue de la protection de l'arachide. Différents lieux de stockage ont été visités.

Souvent accompagnés d'un membre délégué par le village, nous avons aussi recensé dans les zones de culture de l'arachide, les différentes plantes hôtes et prélevé des échantillons composés de gousses de *Bauhinia rufescens*, de *Piliostigma reticulatum*, de *Tamarindus indica* et d'arachide.

Ces gousses sont conservées dans des sacs en plastique jusqu'au retour au laboratoire où elles sont mises dans des bocaux de verre aérés et gardées pendant 45 jours environ afin de déterminer le taux d'infestation cachée (insectes présents à l'intérieur des graines lors du prélèvement).

La perte en poids des échantillons d'arachide prélevés dans chacune des localités est estimée après cinq mois de stockage. Elle est déterminée de la même manière que précédemment décrite.

### III- IDENTIFICATION MORPHOMETRIQUE DE DIFFERENTES SOUCHES DE *C. SERRATUS*

#### INTRODUCTION

Les études réalisées, jusqu'à ce jour, sur *Caryedon serratus* et ses plantes hôtes n'ont pas permis d'élucider les relations probablement complexes qui lient cette bruche aux différentes plantes qui lui servent de support de reproduction. Or, des études de comportements de ponte (Robert, 1984 ; Ndiaye, 1991) ont mis en relief le rôle du substrat de développement larvaire (plante hôte d'origine), et ont incité les auteurs à définir au sein de l'espèce *C. serratus*, des subdivisions pouvant tenir compte des différences relevées, mais selon une classification sans valeur véritable: "la souche" (Ndiaye, 1991). Ces auteurs pensent que les femelles de la bruche de l'arachide auraient tendance à pondre sur la même espèce que celle où elles ont effectué leur développement. Ce comportement peut avoir un fondement génétique ou simplement sensoriel (Ali-Diallo, 1991). En fait, pour certains auteurs, la préférence de l'hôte dont les bruches sont issues paraît liée à un "conditionnement" de l'adulte au moment de l'émergence, à la suite du contact avec les parois externes du cocon ou encore avec la plante hôte (Robert, 1984; Ali-Diallo, 1991).

L'ensemble de ces observations font penser à divers auteurs (Ali-Diallo, 1991; Ndiaye, 1991; Delobel, 1995) qu'il existe, au sein de l'espèce *C. serratus*, un certain degré d'isolement entre populations liées à des hôtes différents (biotypes au sens large, races biologiques ou "host races").

Il devient donc indispensable de déterminer la participation de chaque plante hôte au maintien des populations de bruches jusqu'au moment où des gousses d'arachides sont disponibles. La question est d'identifier le degré d'isolement et de déterminer les flux migratoires entre les différentes populations observées en un lieu où coexistent des cultures d'arachide et plusieurs hôtes sauvages.

L'analyse morphométrique, qui nous servira d'étude préliminaire à celle de la structuration génétique et spatiale de la population de *C. serratus*, est, parmi les techniques permettant de caractériser des populations, celle qui est la plus facile d'accès.

### III.1- MATERIEL

#### III.1.1- Les plantes hôtes échantillonnées

Les insectes analysés dans nos expériences proviennent de gousses récoltées dans la nature sur cinq plantes hôtes: l'arachide et quatre espèces hôtes sauvages: *Bauhinia rufescens*, *Cassia sieberiana*, *Piliostigma reticulatum* et *Tamarindus indica*. Nous n'avons pas d'échantillons des Bauhinnias ornementaux dont les gousses mûres sont déhiscentes et faiblement infestées par *C. serratus*, ni celles de *P. thommingii* qui est une espèce très voisine de *P. reticulatum* et rare dans le territoire sénégalais.

#### III.1.2- Souches étudiées

Cinq souches ont donc été obtenues des plantes hôtes:

- Une souche originaire de Ziguinchor (région de Ziguinchor) obtenue de gousses de *Tamarindus indica* L. (Caesalpinaceae) dont les graines ont chacune un poids moyen de  $388,08 \pm 0,06$  mg. Cette souche est notée Tama.

- Une souche originaire de Sokone (région de Kaolack) obtenue de gousses de *Cassia sieberiana* DC. (Caesalpinaceae). Elle est multipliée au laboratoire pendant une génération sur des graines de cet hôte ayant chacune un poids moyen de  $95,32 \pm 0,02$  mg. Cette souche est notée Cassia.

- Une souche originaire de Fimela (région de Fatick) obtenue de gousses de *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst (Caesalpinaceae) et notée Pilio. Les graines de cette espèce ont chacune un poids moyen de  $120,09 \pm 0,03$  mg.

- Une souche originaire de Deali (région de Louga) obtenue de gousses de *Bauhinia rufescens* Lam. (Caesalpinaceae) dont les graines ont chacune un poids moyen de  $115,71 \pm 0,02$  mg. Elle est notée Bauh.

- Une souche originaire de Kaffrine (région de Kaolack) obtenue de gousses d'arachide (*Arachis hypogaea* L., Fabaceae) et multipliée sur cet hôte au laboratoire pendant une génération, notée Ara. Les graines d'arachide ont chacune un poids moyen de  $511,03 \pm 0,07$  mg.

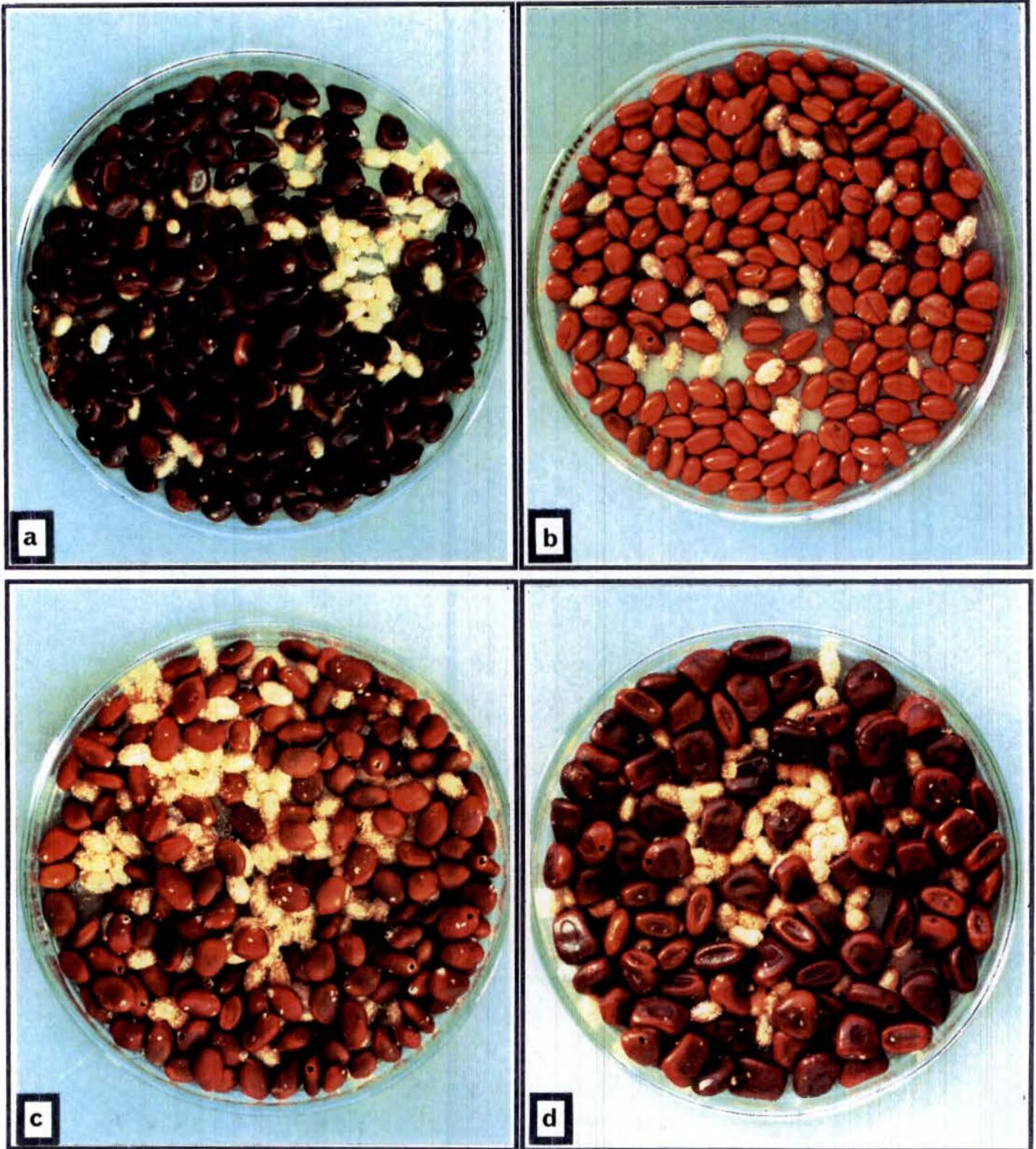


Figure 9: Oeufs et cocons de *C. serratus* incubés dans des boîtes de Pétri: (a), *Bauhinia rufescens* ; (b), *C. sieberiana* ; (c), *Ptilostigma reticulatum* ; (d), *Tamarindus indica*.

## III.2- METHODES

### III.2.1- Conditions d'élevage

Les gousses sont ramenées et gardées au laboratoire pendant au moins 2 mois. Pour chaque plante hôte naturelle, les cocons formés à l'extérieur des gousses sont isolés dans des boîtes de Pétri. En cas de nécessité, les adultes de *C. serratus* obtenus des cocons "sauvages", sont élevés au laboratoire dans des bocaux en verre de 17 cm de diamètre sur 23 cm de hauteur en présence de graines de leur plante hôte d'origine. Du pollen granulé et de l'eau distillée leur servent de nourriture et de boisson. Les bocaux sont fermés à l'aide d'un couvercle à fenêtre recouverte de fine mousseline. Un papier plié, sert de grimpoir aux bruches (Fig. 8a). Les graines sont transférées dans boîtes de Pétri en verre lorsqu'elles ont reçu suffisamment d'oeufs (Fig. 9). Le matériel en verre est mieux approprié à l'élevage de *C. serratus* dont les larves néonates (L<sub>1</sub>) et surtout les larves de dernier stade percent le matériel en plastique (Observations personnelles).

Les élevages sont maintenus dans une salle aérée dont la température et l'humidité relative suivent les fluctuations des conditions extérieures.

La compétition larvaire est pratiquement inexistante. Il ne se développe généralement qu'une bruche par graine.

*C. serratus* subit cependant l'attaque de divers parasites au différents stades de son développement. Ce sont essentiellement des Hyménoptères et un acarien.

Les Hyménoptères oophages pratiquent une ouverture dans le chorion des oeufs et consomment leur contenu. Les oeufs parasités se reconnaissent à leur couleur noire lorsqu'ils contiennent le parasitoïde, grise avec un trou sur le chorion lorsque le parasitoïde en est sorti. Après détermination, il se révèle qu'il s'agit de *Uscana caryedoni*.

Les hyménoptères parasitoïdes des larves appartiennent à la famille des Braconidae. Il s'agit de *Bracon* sp. et *Platyspathius pictipennis* Viereck (Ali-Diallo, 1991).

L'acarien *Pyemotes tritici* parvient à son hôte à travers les orifices pratiqués dans le péricarpe des gousses par les larves ou les insectes adultes émergeant de ces dernières. Les fentes dues au craquèlement du péricarpe constituent également des voies d'accès. *P. tritici* attaque les larves de différents stades, les nymphes et les adultes de *C. serratus*. Dans les élevages, les pertes occasionnées par ce parasite sont considérables, parfois totales.

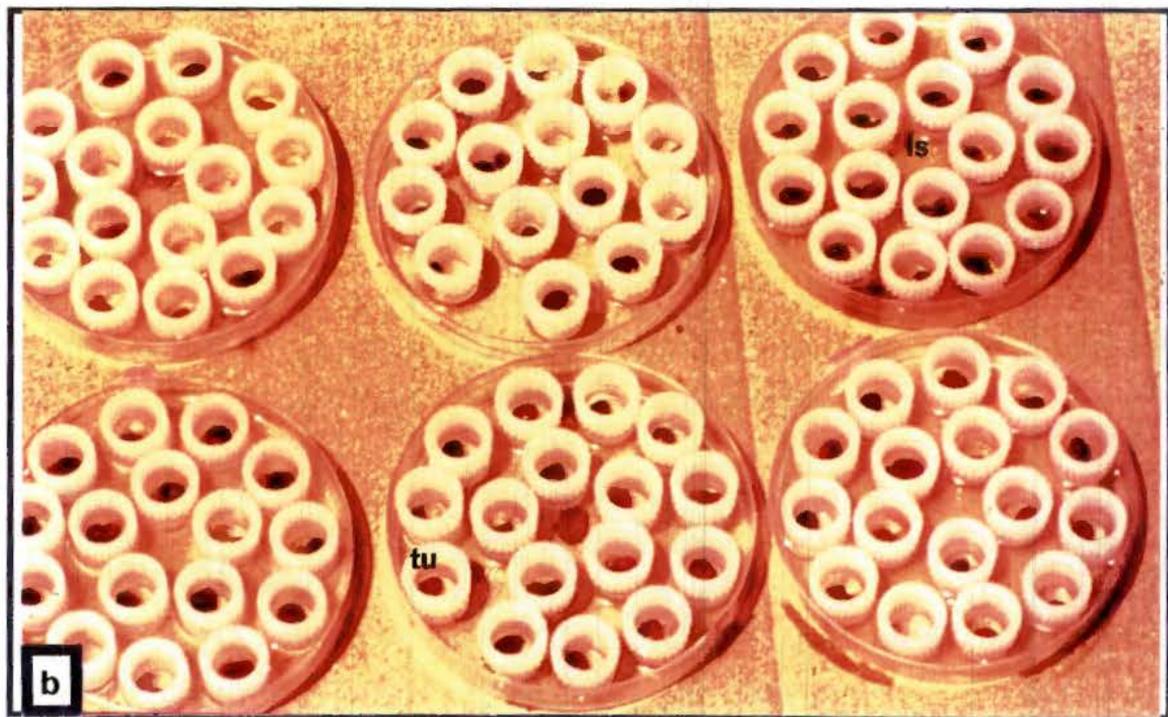


Figure 8: Elevage de *C. serratus*: (a), dans les bocaux en verre ; (b), dispositif contre les acariens parasites.  
 ls = liquide savonneux ; tu = tube contenant les graines ayant reçu des oeufs de *C. serratus*

Nous avons testé différentes méthodes de lutte contre ce parasite (acaricide, sable abrasif...etc.). Elles se sont avérées toutes inefficaces ou toxiques pour les bruches.

Une méthode proposée par Delobel (*in litt.*) nous a semblé par la suite efficace. Elle consiste à coller de petits tubes en plastiques dans des boîtes de Pétri et à remplir le reste de la boîte de Pétri avec de l'eau savonneuse. Les graines ayant reçu des oeufs sont placées chacune dans un tube (Fig. 8b). Les acariens qui sortiraient éventuellement des graines parasitées se noieraient dans le liquide. Les autres graines sans acariens sont ainsi épargnées. Les larves nymphosent dans les tubes. A l'approche de l'émergence, l'insecte noircit (visible par transparence). La boîte de Pétri est alors recouverte par un couvercle pour empêcher l'adulte émergeant de s'échapper. La méthode est efficace mais demande beaucoup de travail pour des élevages de masse.

L'hygiène au niveau des élevages et la surveillance journalière des boîtes pour tuer les éventuels acariens avant qu'ils ne se reproduisent, restent les moyens les plus sûrs pour lutter contre *P. tritici*. Il est aussi indispensable de séparer les insectes en élevages des gousses provenant de la nature dans deux salles différentes.

Plusieurs bruches de l'espèce *Caryedon crampeli* sont obtenues des gousses de *B. rufescens*, *C. sieberiana* et *P. reticulatum*. Cette espèce semble avoir une biologie très voisine de celle de *C. serratus*. Elle a été décrite par Pic en 1924 sous le nom de *Pachymerus crampeli*. Cet auteur écrit: "*P. crampeli* n. sp. *parum elongatus, parum dense et regulariter griseo pubescens, rufus, antennis nigris, ad basin rufis; thorace fortiter sat dense punctato; elytris distincte striatis et minute punctatis, intervalis fere deplanatis, dense punctatis. Long. 6-7 mill.*" (espèce peu allongée, couverte d'une pilosité peu dense et uniformément grise, de couleur rousse, aux antennes noires sauf la base qui est rousse; thorax fortement et densément ponctué; élytres nettement striés et à points minuscules, les intervalles presque plans, densément ponctués).

La différenciation entre les deux espèces est habituellement faite par l'examen des pièces génitales, méthode assez complexe qui nécessite des adultes. Il est possible de les différencier à la loupe d'après la forme des oeufs. Tous les deux ont une forme ovoïde mais celui de *C. serratus* présente des bouts pointus. D'autre part, comme l'indique la description de Pic, les élytres de *C. crampeli* sont uniformément brun rougeâtre alors que ceux de *C. serratus* sont brun noirâtre avec des taches noires.

Tous les *C. serratus* utilisés dans nos expériences ont été identifiés par Delobel. Des spécimens (et leurs pièces génitales) provenant de chacune des plantes hôtes sont conservés au Laboratoire de Zoologie des Invertébrés Terrestres à l'I.F.A.N. Cheikh Anta DIOP de Dakar.

La distinction entre mâle et femelle de *C. serratus* se fait facilement par observation de la partie terminale de l'abdomen. Chez le mâle les élytres recouvrent presque entièrement le dernier tergite abdominal ; celui-ci est complètement nu chez la femelle.

### III.2.2- Choix des variables

Au sein de chacune de ces souches, 30 individus de sexe mâle ont été tirés au hasard; l'analyse a porté sur 150 individus au total.

Nous avons choisi 27 variables représentant des longueurs de parties du corps de la bruche. Les insectes, tués dans un bocal à cyanure, sont soumis pendant cinq minutes à un passage dans une solution de soude à 10%. Les spécimens sont alors lavés dans de l'eau distillée et aussitôt disséqués pour procéder aux mensurations, chaque pièce étant soigneusement séparée des pièces voisines. Celles concernées ont été dessinées grâce à une chambre claire montée sur une loupe binoculaire et leur dessin mesuré à l'aide d'un double décimètre. Les 27 variables suivantes ont été mesurées:

#### *Tête:*

- Longueur de l'antenne (Lan)
- Longueur du dernier article des palpes maxillaires (Lpa)
- Distance minimale entre les yeux ventralement (dvy)
- Distance minimale entre les yeux dorsalement (Lmf)
- Largeur maximale de la tête (Lmt)

#### *Thorax:*

- Longueur du pronotum au centre (Lop)
- Largeur du pronotum (Lap)
- Plus grande dimension du fémur 1 (Lf1)
- Plus grande dimension du tibia 1 (Lt1)
- Plus grande dimension du fémur 2 (Lf2)
- Plus grande dimension du tibia 2 (Lt2)
- Plus grande dimension du fémur 3 (Lf3)
- Plus grande dimension du tibia 3 (Lt3)
- Largeur du fémur 3 au niveau de la première dent, perpendiculairement à la plus grande longueur (La3)
- Nombre de dents au fémur 3 (den)
- Longueur maximale de l'élytre (Loc)
- Largeur maximale de l'élytre (Lac)

Plus grande dimension de la cellule radiale de l'aile postérieure (Loc)  
Largeur maximale de la cellule radiale (Lac)  
Longueur du sternum du bord antérieur du mésosternum  
au bord postérieur du métasternum (Ste)  
Plus grande dimension du trou d'insertion de la coxa 2 (Loi)  
Largeur maximale du trou d'insertion de la coxa 2 (Lai)  
Plus grande dimension de la coxa 3 (Lmc)

*Abdomen:*

Longueur maximale du premier sternite abdominal (Los)  
Largeur maximale du premier sternite abdominal (Las)  
Longueur maximale du pygidium (Lpy)  
Largeur maximale du pygidium (lpy)

### **III.2.3- Analyses statistiques**

Les analyses ont été effectuées grâce au logiciel Stat-ITCF 5ème version (Tomassone, 1988). La méthode utilisée est l'analyse factorielle discriminante (AFD) qui combine l'analyse de variance et l'analyse en composante principale (ACP) (Philippeau, 1986). Elle permet de séparer au mieux plusieurs groupes à l'aide de plusieurs variables en effectuant une discrimination des souches définies a priori mais aussi d'affecter un individu dont l'origine est inconnue à une souche donnée, pourvu que celle-ci ait été préalablement caractérisée par la même méthode.

Dans un premier temps, un test de normalité de la distribution des variables de chaque souche a été effectué en utilisant les valeurs des coefficients  $\beta_1$  (de symétrie) et  $\beta_2$  (d'aplatissement) de Pearson (Snedecor & Cochran, 1967). Ce test a mis en évidence l'absence de normalité de 5 variables, à savoir la plus grande dimension du fémur 1 (Lf1), la plus grande dimension du tibia 1 (Lt1), la longueur du sternum du bord antérieur du mésosternum au bord postérieur du métasternum (Ste), la longueur maximale du premier sternite abdominal (Los) et la largeur maximale du pygidium (lpy). La variable Lan (longueur maximale de l'antenne) ne présente une absence de normalité que dans la souche Tama. Cela est dû à la présence dans la souche étudiée d'un seul individu dont la longueur maximale de l'antenne est de loin supérieure à celle des autres individus de la souche. Cette variable a été conservée. Une première analyse factorielle discriminante a été faite sur les 22 variables retenues.

Cependant, l'utilisation des données brutes à des analyses multivariées linéaires comme l'AFD, même si elle permet de définir un facteur "taille" (axe 1) puis la forme comme ce qui lui est statistiquement indépendant (orthogonal d'un point de vue géométrique) ne permet pas une bonne interprétation des résultats. En effet, les variables n'ayant pas toutes une bonne qualité de représentation dans le plan ayant le plus fort pouvoir de discrimination, la répartition des individus ne sera due qu'à des différences phénotypiques directement liées aux tailles moyennes respectives des cinq souches.

Les données ont donc été soumises à une transformation utilisant le rapport entre chaque mensuration et la mesure de la largeur maximale de la tête (Lmt) considérée comme variable de référence car significativement corrélée avec la plupart des autres variables. Cette transformation a été proposée par de nombreux auteurs (Yoccoz, 1988) afin de réduire l'effet taille. Si elle résout en partie le problème posé, elle présente des désavantages car les rapports sont plus ou moins corrélés entre eux (Yoccoz, 1988). Les variables transformées sont en italique dans le texte.

## IV- DIFFERENCIATION GENETIQUE DE SOUCHES SAUVAGES ET ADAPTEES DE *C. SERRATUS*.

### INTRODUCTION

La détermination des niveaux de contamination en rapport avec la présence ou l'absence de plante hôtes, de même que la morphologie comparative des bruches inféodées aux divers hôtes, restent des méthodes assez grossières et ne permettent pas de tirer des conclusions précises. Nous avons donc essayé d'aborder le problème en utilisant une méthode indirecte: l'étude la structuration génétique d'échantillons de *C. serratus*.

Cette méthode repose sur l'hypothèse que l'autonomie de fonctionnement d'une population, donc son isolement reproductif, peut se traduire par une différenciation génétique, fournissant ainsi des informations sur la structure de cette population ainsi que les facteurs qui la déterminent.

L'importance de la structure populationnelle en génétique a été reconnue depuis le début du siècle. A ce titre, Mayr (1974) souligne que "*Les phénotypes sont le produit de génotypes interagissant avec l'environnement, et les génotypes sont le résultat de la combinaison des gènes trouvés dans le pool génique d'une population locale. C'est pourquoi la population est un chaînon crucial dans la chaîne de l'évolution*".

Mais, même s'il existe des structures intermédiaires entre l'individu et l'espèce (Dobzansky, 1977), la définition théorique de la population et ses subdivisions, n'est pas évidente. Les critères de définition diffèrent selon les auteurs. Ils peuvent reposer aussi bien sur un regroupement spatio-temporel: "*la population est un système biologique formé d'un collectif d'individus de la même espèce, occupant un territoire déterminé à un moment déterminé*" (Duvigneaud, 1974), que sur une niche (fonction) particulière: "*la population peut être définie comme un ensemble d'individus d'une même espèce occupant une niche dans une biocénose déterminée*" (Arnaud & Emig, 1986).

Ces définitions ne prennent pas en compte l'évolution des structures populationnelles dans l'espace, dans le temps et dans le rapport avec le milieu. Or dans les conditions naturelles, ces structures changent.

Pour compléter cette insuffisance, Wright (1931) définit la population comme "*un groupe d'individus ayant autant de probabilités les uns que les autres de se croiser avec le sexe opposé, et d'avoir une descendance*".

Si l'intérêt théorique de cette définition comme population de référence sur laquelle on étudie l'influence de différents facteurs est certain, on ne peut l'appliquer que rarement à des populations naturelles. En effet, elle est basée sur la notion de panmixie, or chez la plupart des individus les accouplements ne se font pas au hasard, il n'y a pas panmixie.

Quelque soit la diversité de ces définitions, le groupe le plus général au sein duquel les individus sont susceptibles d'échanger des gènes est l'**espèce**. Elle est en effet protégée de l'extérieur (c'est à dire des autres espèces) par les barrières interspécifiques qui, normalement empêchent les échanges de gènes entre individus appartenant à des espèces différentes. Les sous-groupes de l'espèce à l'intérieur desquels les individus ont l'occasion d'échanger des gènes sont définis comme étant des **populations**. Dans chacune de ces populations les individus ont en commun un pool de gènes parfaitement caractérisé par les fréquences géniques sur lesquelles agissent les mutations qui sont à la base de toute différenciation génétique.

D'autres mécanismes plus ou moins liés aux mutations peuvent aussi conduire à la différenciation génétique des populations:

-La sélection naturelle effectue un tri entre les différents génotypes. Si les contraintes sélectives, internes ou externes, sont différentes entre deux populations, il en résultera une divergence dans la composition génotypique de ces populations.

-La dérive génétique se produit lorsque la taille des populations est réduite. Elle va provoquer pour chacune des populations des fluctuations aléatoires de leur structure génétique et il est improbable que ces fluctuations soient rigoureusement identiques chez toutes les populations. C'est un facteur de diversification des populations.

-Le régime de reproduction qui conduit à une association préférentielle des gamètes.

Il y aurait donc une part de divergence adaptative (allèles soumis à la sélection) et une part de divergence aléatoire (allèles sélectivement neutres) dans la divergence génétique. L'influence relative des facteurs adaptatifs et stochastiques a été, et reste l'objet

de nombreuses controverses entre "sélectionnistes" (Clarke, 1970 ; Ayala, 1972) et "neutralistes" (Kimura, 1990 ; Ohta, 1992).

A ces différents facteurs de diversification entre populations d'une même espèce, vient s'opposer un facteur d'homogénéisation, le flux génique, assuré par les migrations des individus entre populations.

S'il est indispensable d'un point de vue théorique, de faire la distinction entre les structures observées et ce qui les crée, il est évident que d'un point de vue pratique, l'approche que l'on peut avoir d'une population doit passer nécessairement par une étude de ses structures. Ceci est particulièrement vrai pour les populations d'insectes phytophages inféodés à plusieurs espèces végétales.

Le cas de *C. serratus* qui a ajouté, par allotrophie, une Fabaceae à ses hôtes naturels, nous semble particulièrement intéressant. Ceci nous a amené à nous demander quelle est l'influence du morcellement des sites de ponte sur la structuration génétique de la bruche de l'arachide? Comment se définissent les souches<sup>1</sup> de *C. serratus* par rapport à différentes localités sénégalaises? Dans quelle mesure peut-on relier les différentes sous-populations<sup>2</sup> de la bruche de l'arachide à l'existence de plusieurs plantes hôtes ? Quelles relations existent entre les bruches des différents hôtes naturels et celles infestant l'arachide?

La technique que nous utiliserons pour essayer de répondre à ces questions est l'électrophorèse enzymatique.

## **IV.1- MATERIEL**

### **IV.1.1- Récolte des gousses**

Les gousses des plantes hôtes sont récoltées dès leur maturité, lorsque se produisent les nouvelles infestations, sauf pour la population "*Cassia sieberiana*" obtenue pendant la période où les populations de bruches sont les plus abondantes. Les échantillons d'arachide ont été prélevés au champ durant le séchage à l'exception de celui de Bignona, obtenu d'arachide stockée pendant plusieurs mois. Pour chaque espèce de plante hôte, un nombre suffisant de gousses est récolté pour obtenir au moins 40 adultes de *C. serratus*.

---

<sup>1&2</sup> Nous appelons "souches" les différents *C. serratus* inféodés à une même espèce hôte et sous-populations les *C. serratus* provenant d'une même localité, sans préjuger d'une quelconque structuration à l'intérieur de ces groupes et entre ces groupes.

#### IV.1.2- Echantillons analysés

Les *C. serratus* utilisés proviennent de gousses récoltées sur les mêmes espèces de plantes hôtes que celles utilisées dans l'étude morphométrique. Les insectes sont analysés dès leur émergence ; en cas d'insuffisance d'adultes (mortalité due au parasitisme de *C. serratus* par *Pyemotes tritici*), les bruches sont mises en élevage pendant une génération (pour éviter toute dérive) sur des graines de leur plante hôte d'origine.

Nous avons distingué les échantillons selon deux critères: l'espèce hôte et l'origine géographique. Chaque échantillon est codé en utilisant la première lettre du nom de la plante hôte et les deux premières lettres du nom de la localité où il a été récolté. Par exemple Afi provient de l'arachide récoltée à Fimela ; Ckb de gousses de *C. sieberiana* récoltées à Keur Baka. Vingt six échantillons de bruches des deux sexes sont analysés.

A Fimela, l'échantillon Afi est inféodé à l'arachide, Bfi à *Bauhinia rufescens*, Cfi à *Cassia sieberiana* ; cet échantillon est multiplié au laboratoire pendant une génération ; Pfi à *Piliostigma reticulatum* et Tfi à *Tamarindus indica*.

A Keur Baka, Akb se développe sur arachide, Bkb sur *B. rufescens*, Ckb sur *C. sieberiana*, Pkb sur *P. reticulatum* et Tkb sur *T. indica*.

A Ouarak, Aou est inféodé à l'arachide ; Bou, multiplié au laboratoire pendant une génération, est inféodé à *B. rufescens*, Pou à *P. reticulatum* et Tou à *T. indica*.

A Thiès, Ath provient de l'arachide, Bth de *B. rufescens*, Cth de *C. sieberiana*, Pth de *P. reticulatum* et Tth de *T. indica*.

A Bignona, nous n'avons pu avoir d'échantillons que de l'arachide (Abi) et du tamarinier (Tbi).

A Niore, deux échantillons sont obtenus: Cni sur *Cassia sieberiana* et Pni sur *Piliostigma reticulatum*.

Ont également été analysés trois échantillons individuels, pour déterminer leur position par rapport aux différents groupes. Il s'agit de:

- Bde provenant de Dealé et inféodé à *B. rufescens*,
- Cso provenant de Sokone et obtenu de *C. sieberiana*,
- Aka inféodée à l'arachide cultivée à Kaffrine.

Chacun des échantillons comporte 40 individus ; l'analyse porte donc sur 1040 (40 x 26) individus.

## IV.2- METHODES

### IV.2.1- Principe de l'électrophorèse

Les premiers travaux utilisant l'électrophorèse (transport dans un champ électrique) ont été ceux de Lewontin & Hubby (1966) et de Harris (1966). C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour révéler la variabilité génétique.

Son principe repose sur le fait que les produits immédiats des gènes, c'est à dire les protéines non enzymatiques et les enzymes, sont constitués d'une ou plusieurs chaînes polypeptidiques qui peuvent être identiques ou différentes, et parfois d'une partie non protéique appelée groupement prosthétique.

Chaque chaîne polypeptidique (polypeptide) est formée d'une succession d'acides aminés reliés entre eux par des liaisons covalentes et qui diffèrent par la structure de la partie qui n'entre pas en jeu dans la liaison: le radical. L'ordre et la nature de ces acides aminés déterminent la structure primaire du polypeptide considéré et dépendent uniquement des informations contenus dans l'ADN du gène codant ce polypeptide.

Les protéines sont donc des édifices macromoléculaires qui ont un caractère amphotère et dont les radicaux présentent, selon le pH du milieu, une ionisation qui porte sur les groupements basiques ou acides. Sous l'action d'un champ électrique, les protéines chargées négativement migrent vers l'anode et celles chargées positivement, vers la cathode. Chaque protéine est alors caractérisée par sa mobilité électrophorétique qui se mesure en terme de déplacement à partir de la ligne de départ (en centimètres) après un temps donné (en minutes) pendant lequel l'échantillon à étudier a été soumis à un champ électrique uniforme, caractérisé par sa chute de potentiel (en volts) par unité de longueur sur la distance où s'applique ce champ.

L'électrophorèse permet donc de visualiser des variations dans la charge des protéines, donc des modifications dans leur structure primaire et par déduction dans la séquence de base du gène qui les code. Divers facteurs liés à la structure tertiaire et quaternaire des protéines peuvent modifier la charge d'une protéine (Pasteur *et al*, 1987), mais la charge nette d'une protéine n'est généralement modifiée que lorsqu'il se produit, au niveau de l'ADN, une mutation qui entraîne le remplacement d'un acide aminé par un autre de charge différente.

Les divers variants protéiques détectés par électrophorèse et qui sont codés par les allèles d'un même locus sont appelés allozymes ou alloenzymes.

Une des limites majeures de cette technique est que toutes les mutations ne sont pas détectables par électrophorèse enzymatique, ce qui conduit à une sous-estimation de la variation génétique. Par exemple, cette méthode ne permet de distinguer que des différences de charges entre protéines, il en résulte que toute substitution d'acide aminé au sein d'un édifice macromoléculaire ne se traduisant pas par un remplacement polaire ne peut donc pas être discriminée par cette technique. A l'inverse, chaque bande électrophorétique peut être considérée comme hétérogène, renfermant en fait un ensemble de molécules différentes n'ayant en commun que la charge. On nomme électromorphes de telles classes électrophorétiques composites. En théorie les proportions des allèles détectés par électrophorèse ne représentent environ qu'un tiers de ceux qui existent réellement.

Un certain nombre de techniques permettent de façon directe ou indirecte de visualiser d'autres types de substitution d'acides aminés dans une protéine donnée, et par la même de décomposer les électromorphes. Les principales d'entre elles sont les suivantes

- L'immunoélectrophorèse qui permet de distinguer des allèles dans les systèmes protéiques

- L'isofocalisation qui est une technique électrophorétique particulière où la migration est effectuée dans un gradient d'ampholytes (acides polyaminopolycarboxyliques aliphatiques avec des groupements acides sulfoniques) ; chaque protéine étant alors stabilisée de façon très précise exactement au niveau correspondant à son point isoélectrique. Cette méthode permet en général, dans un système donné, de décrire de nouveaux allèles par rapport à l'électrophorèse classique. Chaque phénotype est alors caractérisé de façon étroite par la minceur des bandes révélées.

- L'électrophorèse en concentration variable qui permet de diminuer la taille de la maille du gel et de discriminer par conséquent les différences de conformation des protéines.

Ces techniques ont le désavantage de révéler très souvent plusieurs électromorphes hétérogènes, serrés et difficilement interprétables.

On peut cependant augmenter le pouvoir de résolution de l'électrophorèse enzymatique en effectuant une série de migrations à des pH différents (électrophorèse séquentielle) car les protéines qui ne sont pas séparées par à un pH, peuvent l'être à un autre. A l'heure actuelle, c'est la seule technique qui permet d'étudier sur un même individu plusieurs dizaines de gènes à la fois et rapidement. Ces gènes représentent a priori un échantillon aléatoire du génome de structure puisqu'ils dépendent exclusivement des techniques de révélation enzymatique

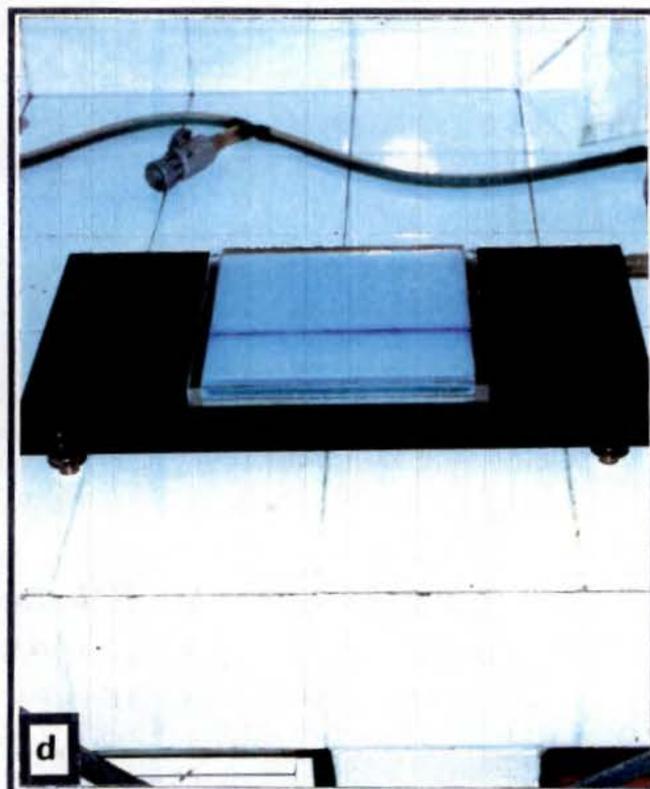
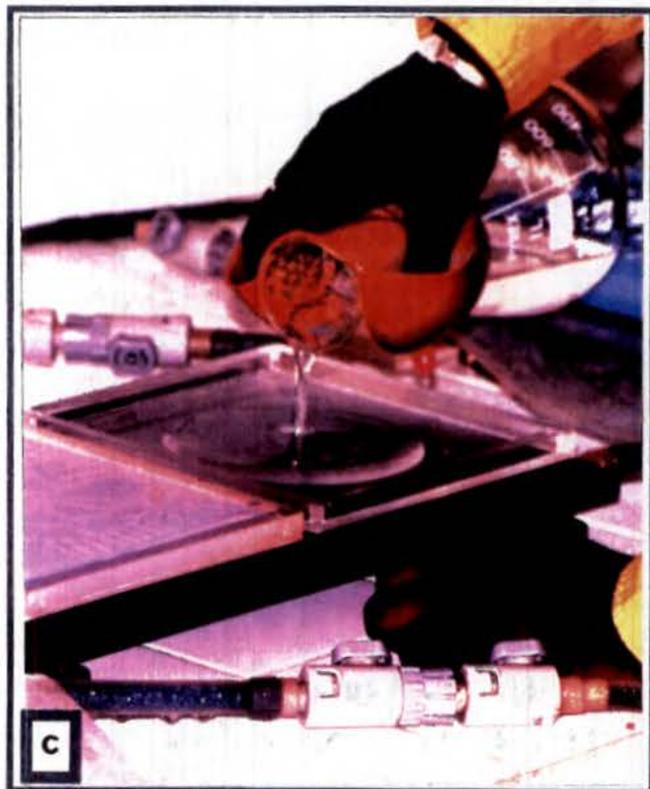
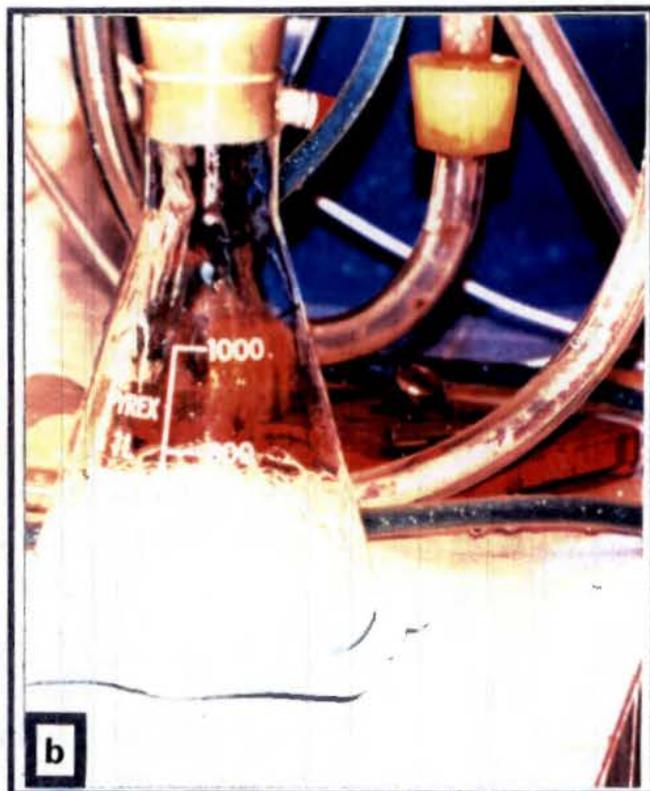
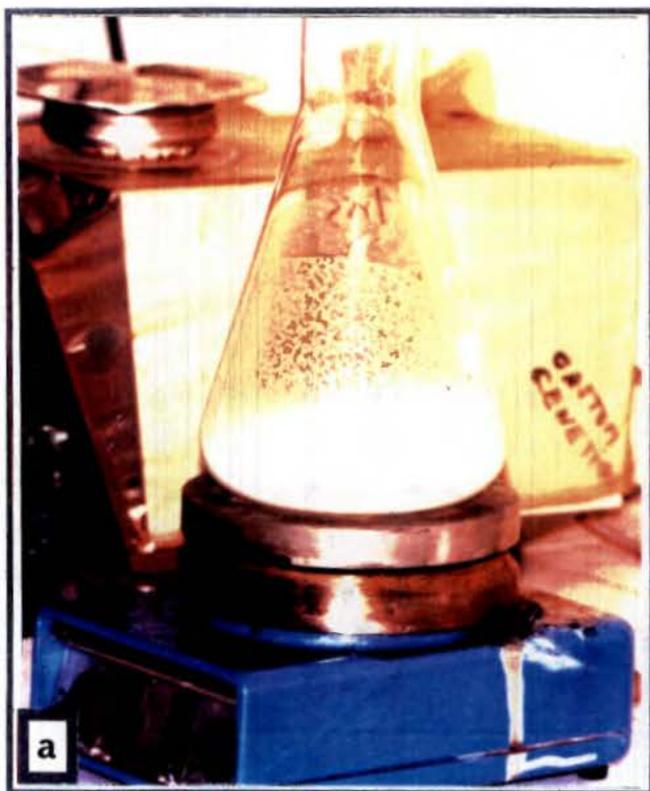


Figure 10: Préparation du gel d'amidon: (a), homogénéisation magnétique ; (b), dégazage ; (c), coulage du gel liquide ; (d), gel consolidé et divisé par une ligne de bromophénol.

## **IV.2.2- Préparation du gel**

### **IV.2.2.1- Choix du support**

Deux supports de migration sont utilisés dans notre laboratoire: l'amidon et la polyacrylamide. Notre choix s'est porté sur l'amidon car, contrairement à la polyacrylamide, l'amidon n'est pas toxique. C'est aussi un substrat dans lequel les protéines solubles migrent à l'intérieur d'un réseau de pores dont la taille est constante, de sorte que les forces de frottement exercées par les bords des pores sur les molécules étudiées, sont constantes et négligeables au cours de la migration électrophorétique (Pasteur *et al.*, 1987). Les molécules étudiées sont essentiellement séparées sur la base de leur charge électrique nette. De plus, ce support nous permet d'analyser simultanément plusieurs systèmes enzymatiques sur une vingtaine d'individus puisque le gel peut être coupé en cinq ou six tranches selon la dextérité du manipulateur. Son emploi ne demande pas un appareillage complexe.

### **IV.2.2.2- Préparation du gel d'amidon**

Le gel d'amidon est préparé en portant à ébullition un mélange d'amidon hydrolysé et une solution tampon. Trois solutions tampon ont été testées: il s'agit du Tris-Citrate à pH 6,7, du Tris-Maléate à pH 7,3 et du Poulik à pH 8,7. Après cinq mois d'expérimentation, le tampon Tris-Maléate s'est révélé le plus approprié pour la migration et la coloration d'un plus grand nombre de protéines. Il est composé de Tris (24,2g / litre) et d'acide maléique (18,6g / litre). Il a été retenu pour la préparation des gels d'amidon.

Les gels sont préparés à 12% en mélangeant dans un Erlenmeyer 42 g de poudre d'amidon et le tiers de 350 ml de tampon gel. Ce mélange est soumis à une agitation magnétique pour homogénéisation (fig. 10a). Les 2/3 restant du tampon gel sont, d'abord, chauffés dans un four à micro-ondes pendant 3 mn et ensuite versés dans l'Erlenmeyer contenant la solution d'amidon. L'ensemble, après avoir été fortement agité, est chauffé jusqu'à ébullition. Il est ensuite dégazé grâce à une pompe à eau, pendant 30 secondes environ (Fig. 10b) et coulé dans un moule de Plexiglas de 1 cm de hauteur sur 17x17 cm<sup>2</sup> de surface, posé sur une surface plane dont l'horizontalité a été vérifiée avec un niveau (Fig. 10c). Les éventuelles bulles d'air à la surface du gel, qui risqueraient de constituer un obstacle à la migration, sont éliminées.

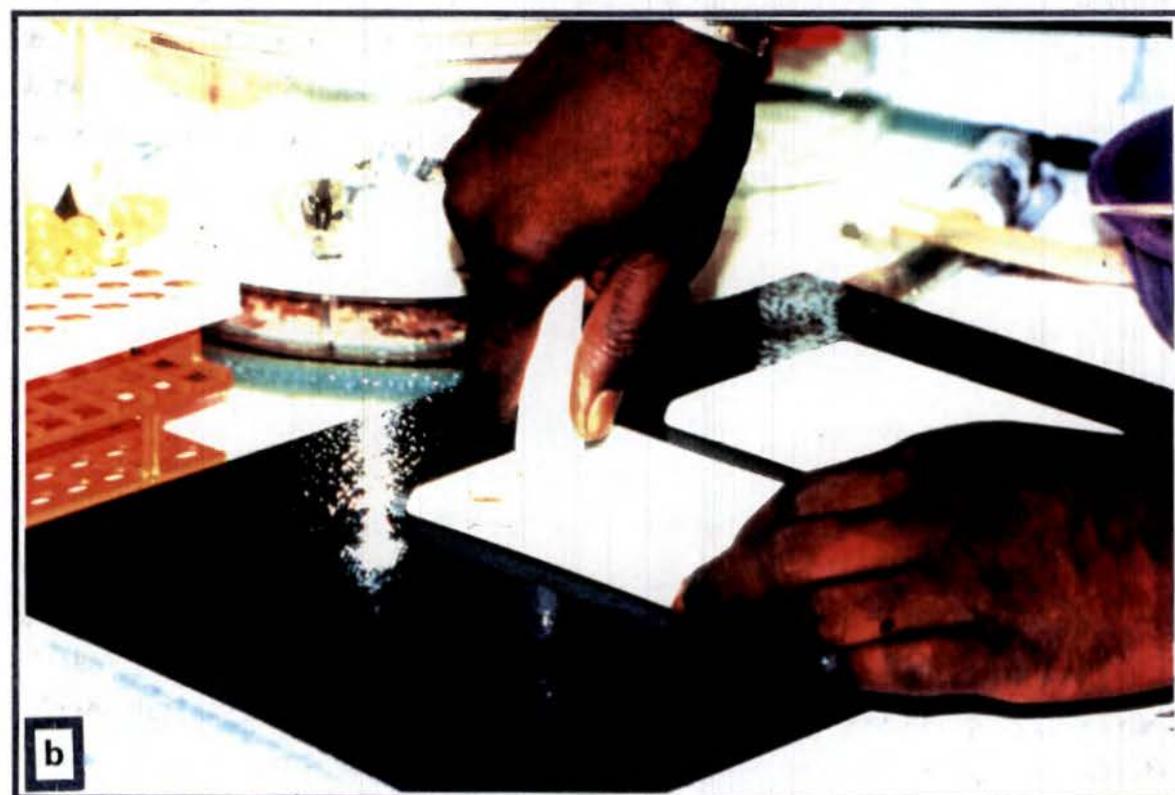
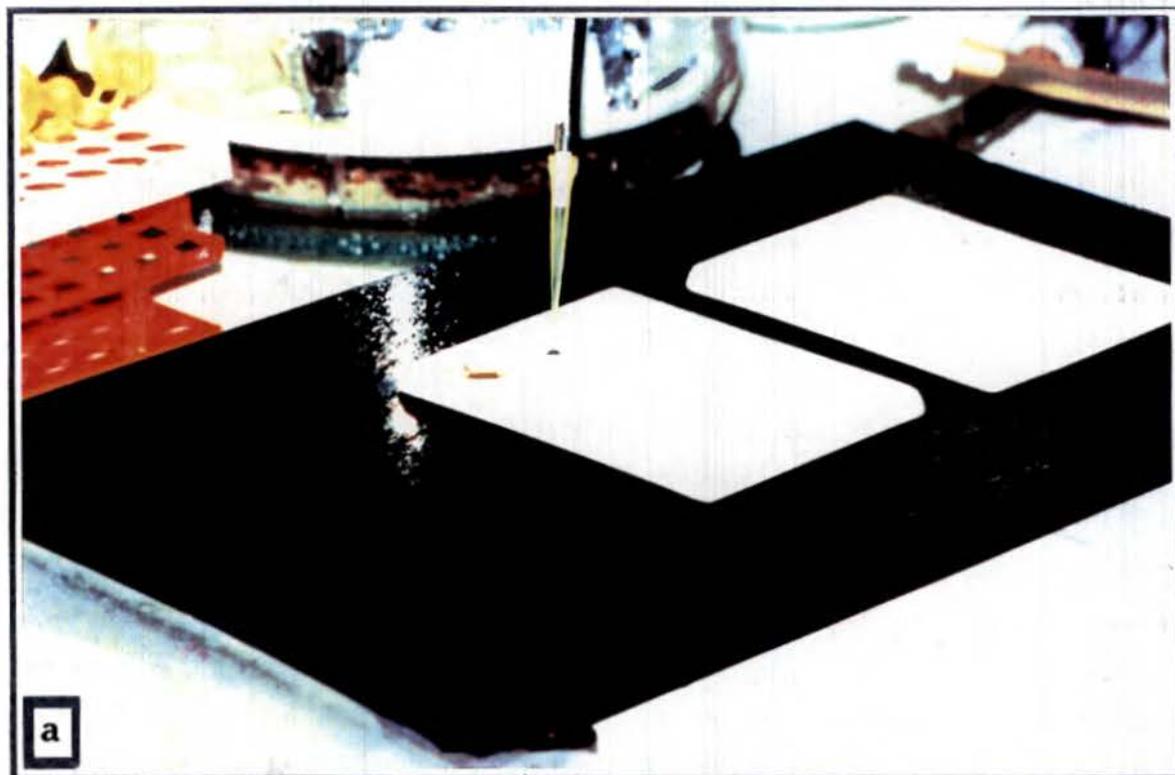


Figure 11: Extraction des protéines: (a), tampon d'extraction versé sur la bruche ; (b), broyage de la bruche avec un micro-mortier.

En refroidissant, l'empois d'amidon se consolide et donne un gel compact (Fig. 10d). Il est ensuite recouvert d'un film plastique en cellofrais pour éviter un dessèchement qui entraînerait des distorsions dans la migration des protéines.

### **IV.2.3- Extraction des protéines**

Deux tampons d'extraction ont été testés: Tris-Cystéine-Eau distillée et Tris-Cystéine-Triton-Eau distillée. Ce dernier extrait mieux les protéines de *C. serratus*. Il est constitué de 0,3027g de Tris (0,1 M), 0,220g de L-Cystéine (0,04 M) et 2,5 ml de Triton à 10% dans 25 ml d'eau distillée. Le pH est ajusté à 7,4 soit avec du NaOH soit avec du Hcl. Chaque bruche, déposée dans un creux d'une plaque maintenue froide, est aspergée de 100µl de tampon d'extraction (Fig. 11a) puis broyée vivante avec un micro-mortier (Fig. 11b). Les broyats, récupérés dans des tubes Eppendorf, sont ensuite centrifugés à 26000 tours/mn pendant 20 mn. Chaque homogénat, prélevé entre le surnageant (lipidique) et le dépôt (solide) avec une seringue, a servi à imbiber un papier Whatman de 15 mm de long et 6 mm de large. Les papiers imbibés sont immédiatement utilisés pour les électrophorèses.

### **IV.2.4- Migration des protéines**

#### **IV.2.4.1- Dépôt des échantillons**

En se guidant avec "une règle à gel", une fente est découpée avec un scalpel, dans la longueur du gel, à environ 6 cm du bord du gel considéré comme le pôle cathodique. En effet, les protéines étant en majorité chargées négativement, migrent vers l'anode. Du bleu de bromophénol est ensuite introduit avec une pipette Pasteur dans la fente (Fig. 10d). Ce produit migre légèrement plus vite que les protéines et constitue un bon indicateur de l'état de la migration quand le gel est sous tension.

A l'aide d'une pince, les papiers imbibés d'extraits protéiques sont introduits dans la fente du gel, en les espaçant les uns des autres de 2 mm et en prenant soin que l'extrémité de chacun touche bien le fond du moule (Fig. 12a). Le gel est ensuite "tassé" de façon à maintenir fermée la fente pratiquée à l'endroit où ont été déposés les échantillons et à s'assurer ainsi que le courant passe de façon homogène dans tout le gel, pendant la migration.

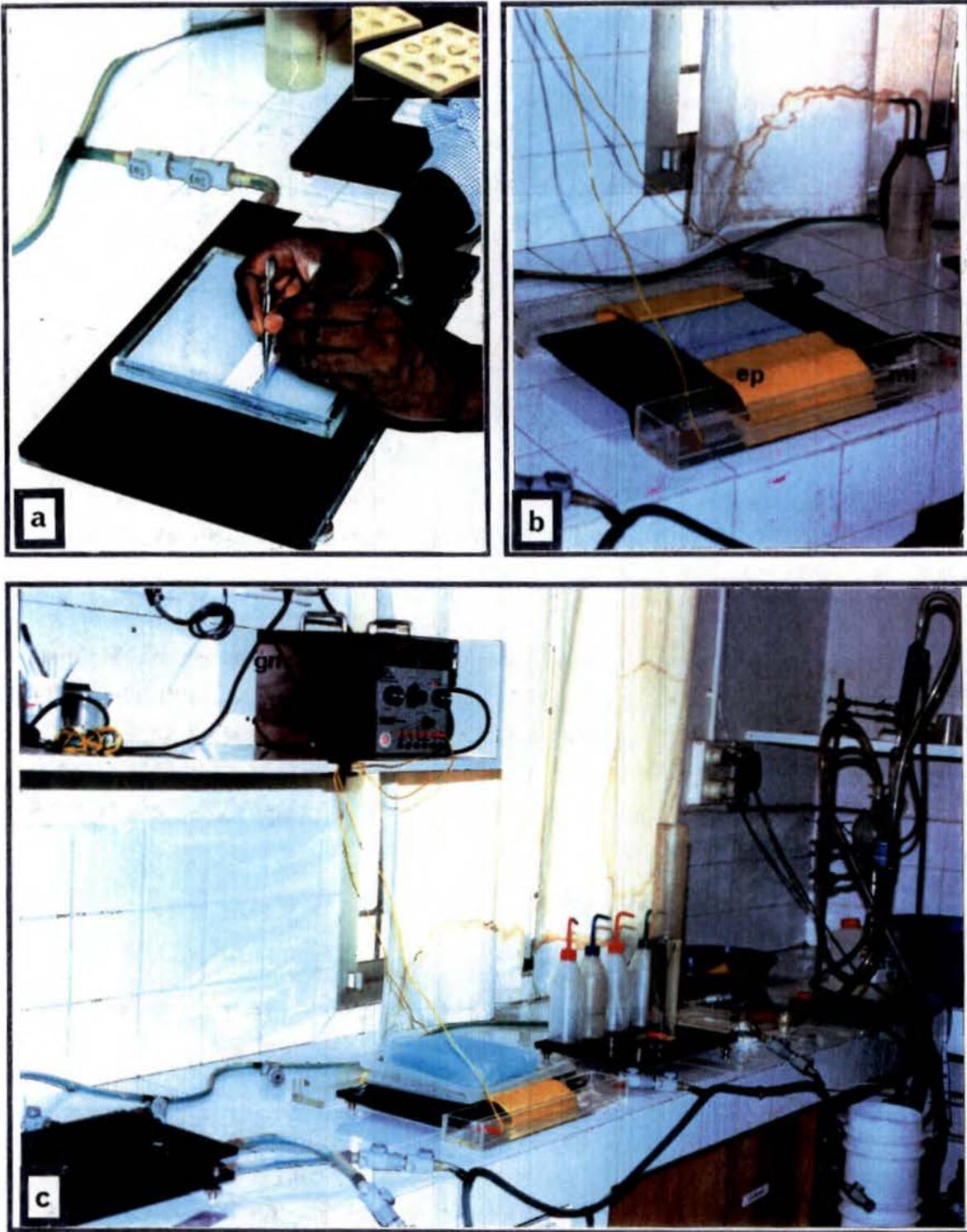


Figure 12: Migration des protéines: (a), dépôt des papiers-filtres imbibés d'extraits protéiques ; (b), mise en contact du tampon de migration et du gel par des éponges ; (c), mise sous tension.

mi = bac contenant le tampon de migration ; ep = éponge plate ; gn = générateur de courant continu

#### IV.2.4.2 - Conditions de migration

Du Tris-Maléate (pH 7,3) composé de 12,1g de Tris/litre et de 9,29g d'acide maléique/litre est utilisé comme tampon de migration (tampon bac), étant le seul à pouvoir former un système fonctionnel avec le tampon gel retenu.

Le moule contenant le gel est posé sur une plaque maintenue froide. Deux bacs contenant les tampons de migration sont posés de part et d'autre de la longueur du moule. Le contact entre le tampon de migration contenu dans les bacs et le gel, et assuré par des éponges plates, souples, imbibées par capillarité (Fig. 12b). L'ensemble est recouvert d'une plaque de verre sur laquelle est posé un bac de glace pour assurer la réfrigération du système au cours de la migration. Les électrodes sont reliées aux bornes d'un générateur débitant un courant continu (Fig. 12c).

Le gel est d'abord soumis à une pré-migration induite par un courant de 60 volts pendant une heure. Dès que la ligne de bromophénol migre d'environ 1 cm, les papiers wathman sont enlevés, ceci permet, par la suite, une migration plus rapide des protéines. La migration est ensuite induite par un courant constant de 120 volts. Elle est arrêtée quand le bleu de bromophénol, déposé au niveau des échantillons, migre jusqu'à 1 à 2 cm du bord anodique du gel. Elle dure 15 heures.

#### IV.2.5- Révélation des systèmes enzymatiques

Des bacs à coloration de 18 cm de long, 14 cm de large et 2 cm de haut sont étiquetés avec des bandes de scotch crépon sur lesquelles sont notés les numéros du gel et le sigle de l'enzyme à révéler.

A la fin de la migration, le gel est débranché du générateur et retiré, dans le moule. La partie anodique (au dessus du bleu de Bromophénol) est éliminée. Les deux coins de droite du gel sont coupés en biais de façon à conserver, au cours des manipulations, un repère de l'ordre de dépôt des échantillons. Chacun des deux morceaux du gel est ensuite transféré sur une "plaque à découper" ayant des rebords de 1 mm d'épaisseur. Grâce à un "fil à gel", une tranche de 1 mm est découpée dans l'épaisseur du gel (Fig. 13a et b). La partie supérieure est laissée sur la "plaque à découper" tandis que la tranche est transférée dans son bac à coloration (Fig. 14c). L'opération peut être répétée 5 fois ce qui permet d'obtenir plusieurs tranches. La partie supérieure du gel, qui comporte généralement de fortes distorsions de migration, dues au dessèchement lors du refroidissement du gel, est systématiquement jetée.

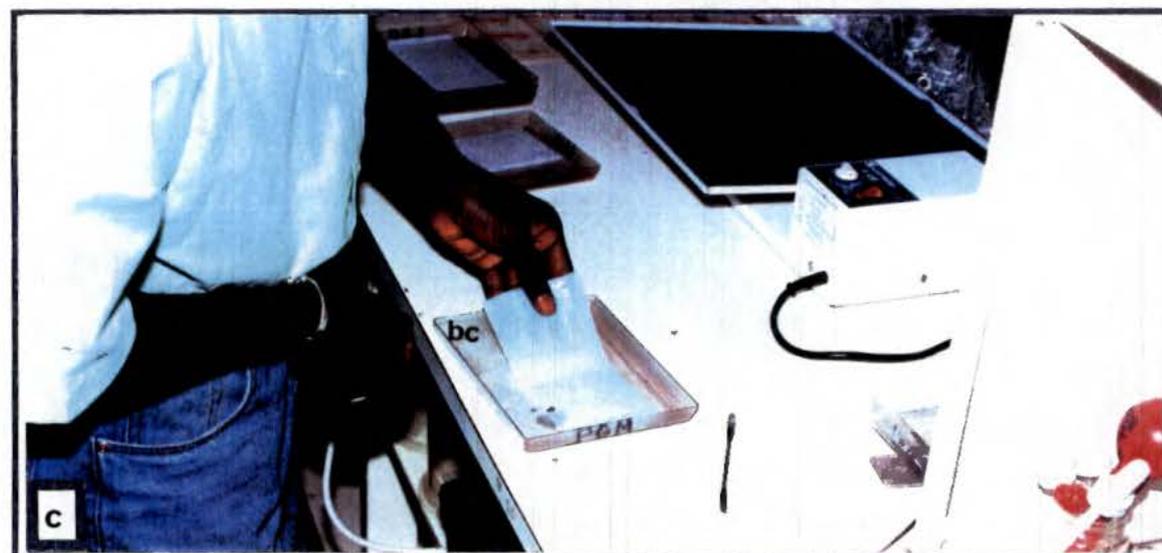
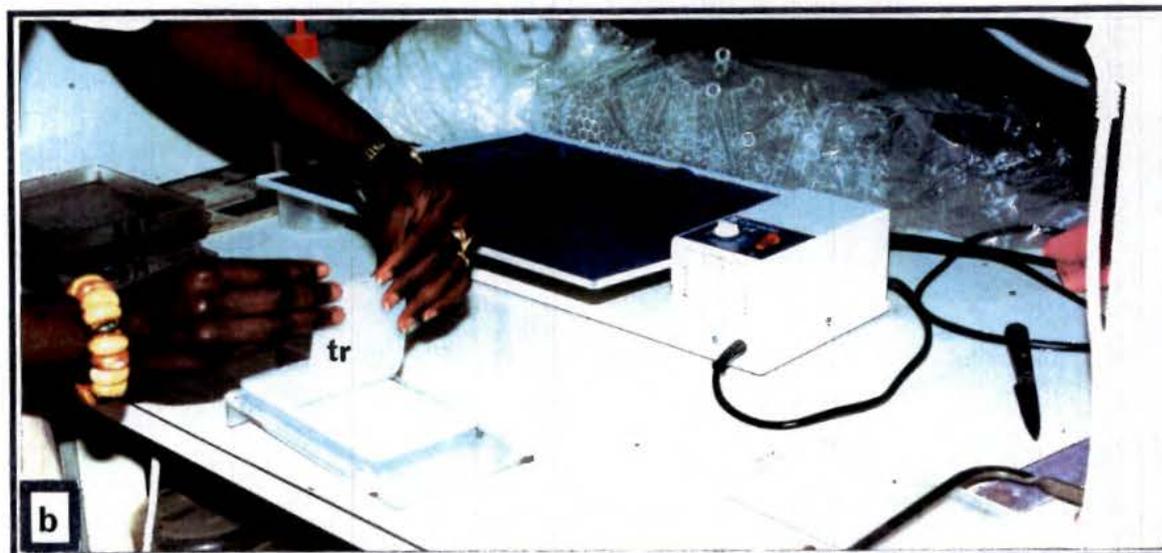
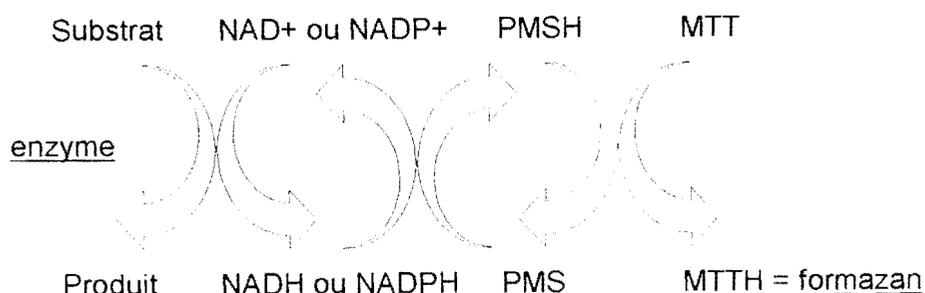


Figure 13: Révélation: (a), coupe du gel en tranches de 1 mm d'épaisseur ; (b), prélèvement de la tranche ; (c), dépôt de la tranche dans le bac à coloration.  
tr = tranche de gel de 1 mm d'épaisseur ; bc = bac à coloration

Les solutions de révélation spécifiques des différents systèmes enzymatiques ont été préparées selon le protocole de Lebrun & Chevallier (1990) (Tab. 1). Pour chaque enzyme, les produits nécessaires à la révélation sont mélangés dans un bécher et dissous dans 50 ml d'eau distillée préalablement chauffée à 60°C . Le mélange est agité et versé sur la surface du gel qui est ensuite incubé à l'étuve à 40°C. La cuve de révélation est retirée de l'étuve dès que les bandes apparaissent suffisamment colorées.

Le principe chimique de révélation est celui d'une réaction chromogène. En présence de son substrat, l'enzyme catalyse une réaction biochimique, réaction mise à profit pour transformer différents composés qui donneront en produit final, un précipité insoluble coloré à l'endroit où a migré l'isoenzyme. Dans la plupart des cas, c'est la production de NADH ou NADPH qui est utilisée pour réduire un sel de tétrazolium jaune, le MTT ou méthyl-thiazol-tétrazolium (3-[4,5-diméthylthiazol-2-yl]-2,5-diphényltétrazolium) en formazan bleu foncé, en présence de PMS ou phénazine méthosulfate, selon la réaction suivante:



Les réactions ont lieu à l'abri de la lumière (le PMS et MTT sont réduits à la lumière). Dans le cas de la Diaphorase (DIA), c'est le 2,6-dichlorophénolindophénol (DCPIP) qui joue le rôle de transporteur d'électrons et donnera des bandes bleues. Pour stopper l'activité enzymatique, la solution de révélation est remplacée par de l'acide acétique à 7% pendant une heure environ.

Les gels sont ensuite placés pendant 24 h au réfrigérateur dans une solution de glycérol à 15% puis disposés entre deux feuilles de Cellophane imbibées de la même solution de glycérol avant d'être étalés, en évitant la formation de bulles d'air. L'ensemble est retenu par deux cadres imbriqués et mis à sécher à 60°C pendant 4 h.

Les gels peuvent être conservés longtemps à l'obscurité sans perte de coloration.

<b>Enzymes</b>	<b>Tampons</b>	<b>Substrats et cofacteurs</b>	<b>Colorants (au dernier moment)</b>
<b>Oxydo-réductases</b>			
.Alcool-déshydrogénase (ADH) E.C. 1.1.1.1.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (2,5 ml)	$\beta$ -NAD 1% (1,5 ml) Ethanol (au dernier moment) Recouvrir la cuve de révélation d'une plaque	PMS 1% (1ml) MTT 1% (1 ml)
.Diaphorases (DIA) E.C. 1.6.2.2.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (10 ml)	$\beta$ -NADH (20 mg) MgCl <sub>2</sub> 0,4M (1ml)	DCPIP 1% (1 ml) MTT 1% (1 ml)
.Isocitrate-déshydrogénase (ICD) E.C. 1.1.1.42.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (10 ml)	Ac.DL-isocitrique (100 mg) MgCl <sub>2</sub> 0,4M (1ml) $\beta$ -NADP 1% (1,5 ml)	PMS 1% (1 ml) MTT 1% (1 ml)
.Malate-déshydrogénase (MDH) E.C. 1.1.1.37.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (10 ml)	L-malate de Na (5 ml) (dissoudre dans 20 ml de H <sub>2</sub> O. Ajuster à pH 7,0 avec NaOH. Ajuster à 50 ml avec H <sub>2</sub> O) $\beta$ -NAD 1% (1,5 ml)	PMS 1% (1 ml) MTT 1% (1 ml)
.Phosphoglucose- déshydrogénase (PGD) E.C. 1.1.1.49	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (10 ml)	MgCl <sub>2</sub> 0,4M (1ml) $\beta$ -NADP 1% (1,5 ml)	PMS 1% (1 ml) MTT 1% (1 ml)
<b>Hydrolases</b>			
.Estérases (EST) E.C. 3.1.1.1.	Tampon Phosphate 0,1M pH 6,5 (50 ml)	$\alpha$ -Naphtylacétate (à dissoudre dans 10 ml d'acétone)	Fast Garnet GBC (50mg) (à dissoudre dans 100 ml H <sub>2</sub> O)
<b>Isomérases</b>			
.Phospho-gluco-isomérase (PGI) E.C. 5.3.1.9.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (20 ml)	MgCl <sub>2</sub> 0,4M (1ml) $\beta$ -NADP 1% (1,5ml) Fructose-6-phosphate (70 mg) Glucose-6-phosphate- déshydrogénase (25 $\mu$ l)	PMS 1% (1 ml) MTT 1% (1 ml)
<b>Peptidases</b>			
.Leucine-amino-peptidase (LAP) E.C. 3.4.1.1.	Tampon Tris maléate 0,1M pH 5,4 (20 ml)	MgCl <sub>2</sub> 0.4M (1ml) L-Leucyl- $\beta$ -Naphtylamide HCL (250mg) (à dissoudre dans 1 ml de Diméthyl-formamide. Ajuster à 100 ml avec H <sub>2</sub> O)	Fast Black K (20 mg) (à dissoudre dans 100 ml H <sub>2</sub> O)
.Endopeptidase (ENDO) E.C. 3.4.2.2	Tampon Tris maléate 0,1M pH 5,4 (20 ml)	BANA (30 mg) MgCl <sub>2</sub> 0.4M (1 ml)	Fast Black K (20 mg) (à dissoudre dans 100 ml H <sub>2</sub> O)
<b>Transaminase</b>			
.Glutamate Oxalo-acétate- transaminase (GOT) E.C. 2.6.1.1.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (20 ml)	Acide aspartique (265 mg) $\alpha$ -Acide Cétoglutarique (35 mg) Pyridoxal-5-Phosphate (10 mg)	Fast Blue BB (80 mg) (à dissoudre dans 10 ml H <sub>2</sub> O)
<b>Transférases</b>			
.Hexokinases (HK) E.C. 2.7.1.1.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (20 ml)	ATP (20 mg) D(+)-glucose (25 mg) MgCl <sub>2</sub> 0,4M (1 ml) $\beta$ -NADP 1% (1,5 ml)	PMS 1% (1ml) MTT 1% (1ml)
.Phosphoglucomutase (PGM) E.C. 5.4.2.2.	Tampon Tris HCl 0,5M pH 8,5 (20 ml)	MgCl <sub>2</sub> 0,4M (1 ml) $\beta$ -NADP 1% (1,5 ml) glucose-1-phosphate (70 mg) Glucose-6-phosphate- déshydrogénase (25 $\mu$ l)	PMS 1% (1ml) MTT 1% (1ml)

Tableau 1: Composition des solutions de révélation enzymatique.

Douze systèmes enzymatiques ont été testés: Alcool-déshydrogénase (ADH), Diaphorase (DIA), Endopeptidase (ENDO), Estérases (EST), Glutamate-oxaloacétate-transaminase (GOT), Hexokinase (HK), Isocitrate-déshydrogénase (ICD), Leucine-amino-peptidase (LAP), Malate-déshydrogénase (MDH), 6-Phosphogluconate-déshydrogénase (PGD), Glucose-phosphate-isomérase (PGI) et Phosphoglucomutase (PGM).

Chaque bande observée sur le gel est identifiée au moyen d'un indice, le  $R^f$ , caractérisant son pouvoir migratoire dans les conditions d'expérience. Cet indice est défini comme étant le rapport de la distance (en mm) entre le haut du gel et le milieu de la bande considérée et de la distance (en mm) entre le haut du gel et la ligne de bromophénol. dans tous gels, les allozymes sont numérotés en partant du haut ; l'allèle le plus "lent" est le numéro 1.

#### **IV.2.6- Paramètres génétiques et études statistiques**

L'analyse des zymogrammes, suivie de leur interprétation génétique, a permis d'identifier, pour chaque système enzymatique et chaque locus, les génotypes de chaque individu.

Ces données sont récapitulées sur des fiches électrophorétiques (Annexe II) et traitées par informatique en utilisant trois logiciels: Biosys-1 V 1.7 (Swofford & Selander, 1981), Genepop V1.2 (Raymond & Rousset, 1994) et Fstat V 1.2 (Goudet, 1995).

Le polymorphisme enzymatique (sens large) des différents échantillons de *C. serratus* est recherché à trois niveaux: la variabilité génétique, l'équilibre génétique et la différenciation génétique.

##### **IV.2.6.1- Variabilité génétique**

###### **IV.2.6.1.1- Nombre moyen d'allèles**

Le nombre moyen d'allèles par locus ( $A$ ) est calculé pour l'ensemble des loci étudiés, y compris les loci n'en comportant qu'un. Il est déterminé en faisant le rapport de la somme des allèles ( $a$ ) par le nombre de locus ( $r$ ) d'un échantillon donné:  $A = \sum a / r$ .

Si des gènes codant pour des allozymes ont plus d'allèles que ce que permet la mutation, les allèles doivent alors s'accumuler sous l'effet d'autres forces agissant dans la nature. Par contre, s'il y a moins d'allèles que ce qu'on attend, d'autres forces doivent participer à l'élimination des allèles.

#### IV.2.6.1.2- Fréquences alléliques

La façon la plus simple de décrire la variation mendélienne consiste à donner la distribution des fréquences des génotypes dans la population. La variation peut exister aussi bien au sein d'une population qu'entre elles. Plus généralement, au lieu des fréquences génotypiques, on utilise les fréquences des allèles distincts. Si  $f_{AA}$ ,  $f_{Aa}$  et  $f_{aa}$  sont les proportions des trois génotypes pour un locus à deux allèles, les fréquences  $p(A)$  et  $q(a)$  de ces allèles s'obtiennent en comptant leur nombre. Puisque chaque homozygote  $AA$  ne comporte que des allèles  $A$  et que seule la moitié des allèles de chaque hétérozygote  $Aa$  est du type  $A$ , la fréquence totale ( $p$ ) des allèles  $A$  dans la population est  $p = f_{AA} + \frac{1}{2} f_{Aa}$  et celle ( $q$ ) des allèles  $a$  est  $q = f_{aa} + \frac{1}{2} f_{Aa}$ .

Si des allèles multiples sont en cause, la fréquence de chacun des allèles est donnée par la fréquence des homozygotes plus la moitié de la somme des fréquences de tous les hétérozygotes auxquels il participe.

La fréquence d'un allèle donné, dans une population, peut être modifiée par mutation, sélection ou migration, ou encore par les effets de l'échantillonnage au hasard (échantillons trop petits).

#### IV.2.6.1.3- Taux de polymorphisme

Chaque espèce ou organisme révèle une variation génétique considérable qui s'exprime au sein de l'individu, au sein d'une population ou d'une population à une autre. Le polymorphisme enzymatique est l'une des descriptions quantitatives de cette variation. Certains loci ne présentent qu'un allèle dans l'échantillon étudié, d'autres plusieurs et avec des fréquences relativement élevées. Les premiers sont dits monomorphes et les seconds polymorphes. Le polymorphisme est calculé, pour chaque échantillon, en faisant le rapport du nombre de loci polymorphes au nombre total de loci (polymorphes et monomorphes) révélés.

Toutefois, certains loci peuvent présenter un allèle très fréquent et un ou plusieurs allèles rares. Ceux-ci ne seront alors détectés que si la taille de l'échantillon est suffisamment grande. Aussi, une application stricte de ce critère peut conduire à les classer dans l'un ou l'autre catégorie selon la taille ou les hasards de l'échantillonnage. Pour éviter cet inconvénient, on se fixe un seuil de fréquence correspondant à la probabilité de détecter les allèles rares: 5% ou 1%.

Pour notre étude, nous considérons un locus comme monomorphe si son allèle le plus commun a une fréquence supérieure à 0,95.

#### IV.2.6.1.4- Hétérozygotie

Le taux d'hétérozygotie est l'indice le plus satisfaisant de la variabilité génétique (Lucotte, 1983). Sa valeur numérique dépend du nombre de loci polymorphes et de la structure génotypique de chacun d'eux. Le taux d'hétérozygotie est pour chaque locus, la fréquence totale des génotypes hétérozygotes observés dans un échantillon pour ce locus. L'hétérozygotie sera élevée si de nombreux allèles existent avec la même fréquence. Par contre, si un allèle est très commun et les autres rares, il y a très peu d'hétérozygotes. Si l'on considère plusieurs loci à la fois, on peut calculer l'hétérozygotie observée dans nos échantillons ( $H_o$ ) soit en faisant une moyenne de la fréquence des hétérozygotes aux différents loci, soit en prenant les fréquences gamétiques et en calculant le nombre d'individus porteurs de deux formes gamétiques différentes. Les résultats obtenus dans les deux cas sont en général légèrement différents. Nous avons utilisé la première méthode, disponible dans le logiciel Biosys V 1.7. (Swofford & Selander, 1981).

Un taux d'hétérozygotie théorique qui correspond à l'hétérozygotie de la population, en la supposant à l'équilibre de Hardy-Weinberg a pu être établi:  $H_w = 1/r \sum h$  où  $r$  est le nombre de loci et  $h$  l'hétérozygotie à chaque locus, à savoir  $h = 1 - \sum x_i^2$  où  $x_i$  est la fréquence du  $i^{\text{ème}}$  allèle à ce locus.

La comparaison de  $H_o$  et  $H_w$  a été faite par le test exact de Fisher disponible dans Genepop V.1.2 (Raymond & Rousset, 1995)

#### IV.2.6.2- Equilibre génétique

##### IV.2.6.2.1- Equilibre de Hardy-Weinberg

L'ensemble des forces qui s'exercent sur une population détermine sa constitution génétique et tend à la maintenir ou la modifier. Les fréquences génotypiques et les allèles sont liés par des relations qu'il est possible de formaliser par un modèle mathématique plus ou moins complexe (Suzuki *et al.*, 1991). L'un des modèles les plus simples est celui de Hardy-Weinberg qui repose sur plusieurs hypothèses:

- l'organisme considéré est diploïde
- la reproduction est sexuée
- les générations sont non chevauchantes
- les croisements se font au hasard
- la taille de la population est très grande
- les migrations sont négligeables
- les mutations sont insignifiantes
- la sélection n'a pas d'effet sur les allèles considérés

De ce modèle découle la **loi de Hardy-Weinberg** qui dit que dans une population panmictique, en équilibre, d'effectif élevé, ne présentant ni mutation, ni sélection, ni migration, les fréquences génotypiques et alléliques restent constantes d'une génération à une autre. Par exemple, pour un locus autosomique possédant  $k$  allèles:  $A_1, A_2, \dots, A_k$ , la fréquence totale des génotypes homozygotes est  $\sum x_i^2$  avec  $x_i$  la fréquence de l'allèle  $A_i$  et la fréquence totale des hétérozygotes est  $2\sum x_i x_j$  avec  $x_j$  la fréquence de l'allèle  $A_j$ . Une population naturelle est alors dite en **équilibre de Hardy-Weinberg** (équilibre panmictique) quand la distribution génotypique des individus est:

$$\sum x_i^2 A_i A_i + 2\sum x_i x_j A_i A_j + \sum x_j^2 A_j A_j$$

Cette distribution doit se maintenir de génération en génération en l'absence de forces de spéciation. Au niveau pratique, tout écart observé par rapport à cet équilibre, peut être statistiquement analysé. Deux méthodes peuvent être utilisées:

**a/** Lorsque les effectifs sont suffisamment élevés, l'adéquation des fréquences génotypiques aux proportions de Hardy-Weinberg peut être testée par le  $\chi^2$  (**chi-deux**) de Pearson:  $\chi^2 = \sum (\text{obs} - \text{théo})^2 / \text{théo}$  où "obs" exprime l'effectif des génotypes observés et "théo", l'effectif des génotypes théoriques. A toute valeur du  $\chi^2$ , on associe le nombre de degrés de liberté (**ddl**) qui est la différence entre le nombre de phénotypes et celui des allèles. La significativité du test est lue dans les tableaux de  $\chi^2$ .

**b/** le test exact de Fisher qui peut être utilisé quelque soit la taille des échantillons. Son principe repose sur le calcul des probabilités de tous les tableaux de contingence dans lesquels la variable "ligne" est identique à la variable "colonne" (fréquences des génotypes) obéissant à l'hypothèse nulle et conduisant à des fréquences marginales observées. Dans le cas du test des proportions de Hardy-Weinberg, l'hypothèse nulle est que la population d'où a été extrait l'échantillon est en équilibre de Hardy-Weinberg.

La valeur  $p$  fournie par les tests correspond au seuil de signification, c'est-à-dire à la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle. Nous avons recherché l'équilibre de Hardy-Weinberg de nos échantillons en utilisant le test exact de Fisher à un risque de 5%:

-si  $p > 0,05$ , l'échantillon ne diffère pas significativement des proportions de Hardy-Weinberg

-si  $p < 0,05$ , l'échantillon diffère significativement des proportions de Hardy-Weinberg.

Nous avons recherché l'équilibre panmictique dans chaque échantillon, à l'intérieur de chaque souche (plante hôte), dans toutes les sous-populations (localités) et pour l'ensemble des échantillons.

#### IV.2.6.2.2- Equilibre de liaison

Dans une situation panmictique, les allèles de tout gène se répartissent selon des génotypes qui sont des combinaisons aléatoires dont les fréquences sont données par la loi de Hardy-Weinberg.

Dans les gamètes, les allèles d'un gène A peuvent ne pas être associés de façon aléatoire avec les allèles d'un gène B. Quand les allèles de gènes différents s'associent au hasard, la fréquence d'un gamète portant une combinaison particulière d'allèles, est égale au produit des fréquences de ces allèles. Les gènes qui sont associés au hasard sont dits en équilibre de liaison et les gènes non associés au hasard sont dits en déséquilibre de liaison (Solignac *et al.*, 1995).

L'absence de déséquilibre de liaison entre loci est recherchée par le test exact de Fisher. L'hypothèse nulle est l'indépendance entre les loci.

#### IV.2.6.3- Différenciation génétique

##### IV.2.6.3.1- Analyse Factorielle des Correspondances

Les analyses discriminantes sont des méthodes d'analyse factorielle qui consistent à rechercher des variables discriminantes correspondant à la projection des individus sur le ou les plans formés par les axes qui séparent le mieux possible des groupes d'observations (Ribodeau, 1995).

Dans notre cas, les variables sont les loci polymorphes et les observations, les différents échantillons.

##### IV.2.6.3.2- Indices de fixation

Ce sont des paramètres qui mesurent le déficit en hétérozygotes observé dans les échantillons par rapport aux taux d'hétérozygotes attendus dans le cas de l'équilibre de Hardy-Weinberg.

Dans une population, trois niveaux hiérarchiques peuvent être observés: Celui de l'individu (I), celui de la sous-population à laquelle il appartient (S) et enfin celui de la population considérée dans son ensemble (T) (Solignac *et al.*, 1995).

Pour caractériser l'hétérozygotie de ces niveaux, Wright (1978) définit les paramètres suivants:

- $H_I$  = hétérozygotie moyenne observée dans une sous-population
- $H_S$  = hétérozygotie moyenne attendue dans une sous-population panmictique
- $H_T$  = hétérozygotie moyenne attendue dans une population globale panmictique

Le premier indice de fixation  $F_{is}$  (i comme individu et s comme sous-population) correspond au **coefficient de consanguinité** et mesure la réduction éventuelle de l'hétérozygotie individuelle à l'intérieur de la sous-population. Pour chaque allèle,

$$F_{is} = (H_S - H_I) / H_S$$

$F_{is} = 0$  dans le cas où la population est panmictique

$F_{is} = 1$  quand il n'y a que des homozygotes dans la sous-population ; il y a complète fixation de l'allèle

$F_{is} = -1$  s'il n'y a que des hétérozygotes dans la population

Le deuxième indice  $F_{it}$  (i comme individu et t comme totale) mesure la réduction d'hétérozygotie totale entre l'individu et la population totale:

$$F_{it} = (H_T - H_I) / H_T$$

Si  $F_{is}$  et  $F_{it}$  sont différents, c'est qu'il existe une autre source de déficit en hétérozygotes, due à une différenciation entre les différents échantillons. Ce phénomène est connu sous le nom d'effet Wahlund (1928).

Entre les sous-populations et la population totale, l'effet de la subdivision est exprimé par  $F_{st}$  (s comme sous-population et t comme total). Il est appelé **index de fixation**.

$$F_{st} = (H_T - H_S) / H_S$$

Cet indice peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 1.

$F_{st} = 0$  quand il n'y a pas de différence entre les fréquences alléliques des sous-populations

$F_{st} = 1$  quand tous les échantillons sont panmictiques et totalement isolés.

Les trois indices sont liés par la relation:

$$(1 - F_{it}) = (1 - F_{is})(1 - F_{st})$$

Si toutes les sous-populations sont bien en équilibre de Hardy-Weinberg, on a  $F_{is} = 0$ , et donc  $F_{it} = F_{st}$ . Si elles sont toutes à l'équilibre de Hardy-Weinberg et ont les mêmes fréquences alléliques,  $F_{is}$  et  $F_{st}$  sont nuls et  $F_{it}$  aussi. La division en sous-populations n'existe plus en fait et la population globale est à l'équilibre de Hardy-Weinberg.

L'objectif de l'utilisation des indices de fixation est d'obtenir des paramètres significatifs rendant compte de la variabilité génétique intra- et inter-groupes à l'intérieur d'un ensemble. Mais les échantillons prélevés dans chacun des groupes ont une taille réduite par rapport à l'effectif total de ces groupes. Il faut donc tenir compte du biais introduit par l'échantillonnage et construire des estimateurs non biaisés des différents paramètres.

Deux familles d'estimateurs existent dans la littérature (Nei & Chesser, 1983 ; Weir & Cocherham, 1984). Mais Goudet (1995) a montré que l'estimateur de  $F_{st}$  calculé par la méthode de Nei & Chesser (1983) était biaisé par le nombre d'échantillons utilisés, alors que celui fournit la méthode de Weir & Cocherham (1984) ne l'était pas.

Nous avons alors utilisé les estimateurs  $f$  et  $\theta$  de Weir et Cockerham (1984) des  $F$ -statistiques (Wright, 1978) pour analyser la différenciation génétique de l'ensemble des échantillons. La souche *C. sieberiana* est ensuite exclue des analyses intra- et inter-échantillons, intra- et inter-plante hôte et intra- et inter-localités ;  $f$  (coefficient de consanguinité) et  $\theta$  (degré de différenciation génétique) correspondent respectivement au  $F_{is}$  et  $F_{st}$  de Wright.

Toutes les analyses ont été faites selon deux critères: la plante hôte et l'origine géographique. La différence des valeurs de  $\theta$  et  $f$  par rapport à 0 est testée par  $\chi^2 = 2N(\theta)(k-1)$  pour  $k$  allèles et  $s$  échantillons avec  $(k-1)(s-1)$  ddl.

#### IV.2.6.3.3- Identité et Distance génétiques de Nei

Ces paramètres, comme les index de fixation, rendent compte de la structuration génétique intra et inter-échantillons.

L'identité génétique de Nei ( $I$ ) est aussi appelée indice de ressemblance de Nei. Si  $X_i$  est la fréquence de l'allèle  $i$  d'un gène d'une population  $X$  et  $Y_i$  celle de l'allèle  $i$  au même locus dans une population  $Y$ , la probabilité d'identité de 2 allèles pris au hasard, l'un à dans  $X$  et l'autre dans  $Y$ , est  $P_{XY} = \sum X_i Y_i$ . De même la probabilité d'identité de deux allèles pris au hasard à ce locus, au sein de  $X$  est  $P_X = \sum X_i^2$ , et au sein de  $Y$ , est  $P_Y = \sum Y_i^2$ . Alors:  $I = P_{XY} / P_X P_Y$

Si les deux populations possèdent les mêmes allèles à des fréquences identiques, on a  $P_{XY} = P_X = P_Y$  et  $I = 1$ .

Si elles n'ont aucun allèle en commun,  $P_{XY}$  est égal à 0 et  $I$  est nul.

La distance génétique de Nei (**D**) ou indice de dissemblance de Nei est le cologarithme népérien de I:

$$D = - \text{Log } I$$

D varie de 0 (identité des échantillons comparés) à l'infini. Si par exemple,  $D = 0,15$ , c'est qu'en moyenne 15 remplacement d'allèles (électrophorétiquement décelables) seront intervenus dans 100 loci depuis que les lignées des deux populations comparées se sont séparées (Pasteur *et al.*, 1987).

Dans notre travail, nous n'avons utilisé que les indices de dissemblance de Nei qui nous ont permis de construire un dendrogramme des distances génétiques modifiées de Nei des échantillons, en utilisant la méthode U.P.G.M.A. (Unweighted pair group method analysis) (Swofford & Selander, 1981).

#### IV.2.6.3.4- Flux génique

Le flux génique entre les bruches inféodées à l'arachide et celles provenant de chacune des plantes hôtes sauvages est calculé à partir de la relation  $F_{st} = 1/(4Nm + 1)$  où  $Nm$  est le nombre effectif de migrants par génération (Wright, 1931).

L'influence du flux génique dans l'homogénéisation des caractéristiques génétiques ou comme facteur de diversification des populations reste sujet à controverses. Selon Mayr (1974) et Dobzansky (1977), un flux génique important empêche toute différenciation génétique des populations. Cependant Erlich & Raven (1969) et Endler (1973, 1979) ainsi que les partisans de la spéciation sympatrique pensent que le flux génique n'a pas un rôle important: la sélection naturelle peut maintenir une forte différenciation malgré un flux génique élevé.

Au vu des biais que peuvent apporter, dans les résultats, l'utilisation des paramètres génétiques dans l'interprétation des différences génétiques observées entre échantillons doit être effectuée avec prudence, en s'appuyant sur notre connaissance de la biologie et de l'écologie de la bruche de l'arachide.

# **RESULTATS ET DISCUSSION**

# I- DYNAMIQUE DE CONTAMINATION DE L'ARACHIDE PAR

## C. SERRATUS

### I.1- RESULTATS

#### I.1.1- Infestation au champ

Les premières attaques de larves de *C. serratus* sont observées dès le 4<sup>ème</sup> jour après la récolte. L'évolution du nombre d'oeufs déposés sur les gousses (Fig. 14 et 16) révèle que la ponte se poursuit tant qu'il y a des gousses disponibles et augmente en fonction de la durée de séchage. Les niveaux d'infestation initiaux sont faibles dans les deux variétés: 8,5 oeufs déposés chez la variété 73-33 et 5 chez la variété GH 119-20 pour 1000 gousses environ. Aucun oeuf n'est observé après 7 jours de séchage dans les parcelles 3 et 5, mais les niveaux d'infestation relevés à l'échantillonnage suivant, qui sont du même ordre de grandeur que ceux observés dans les autres parcelles, indiquent que les gousses parcelles 3 et 5 étaient probablement déjà atteintes.

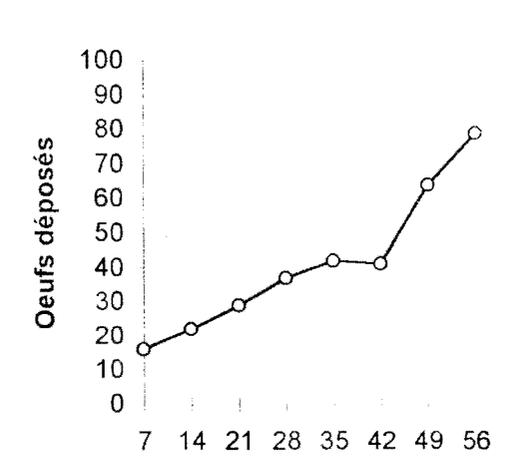
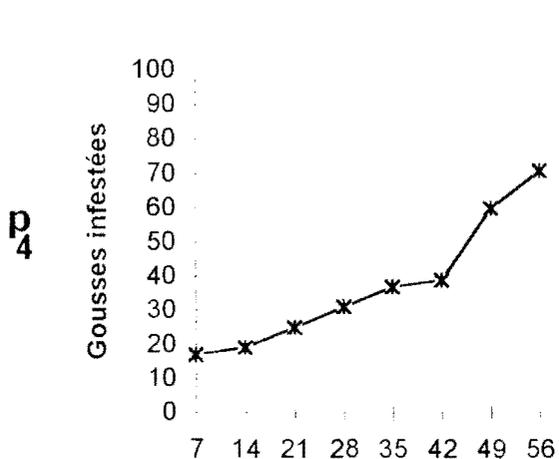
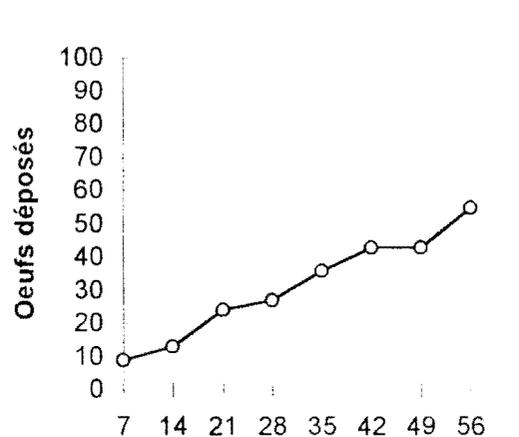
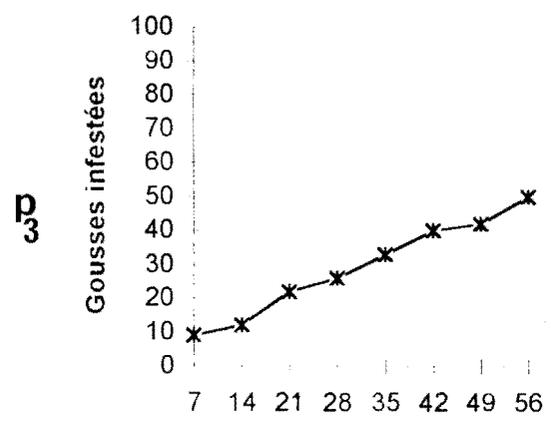
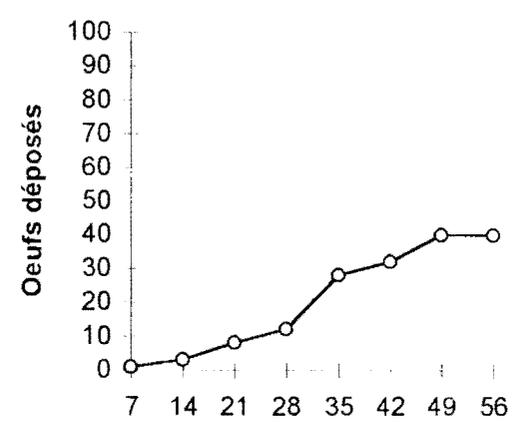
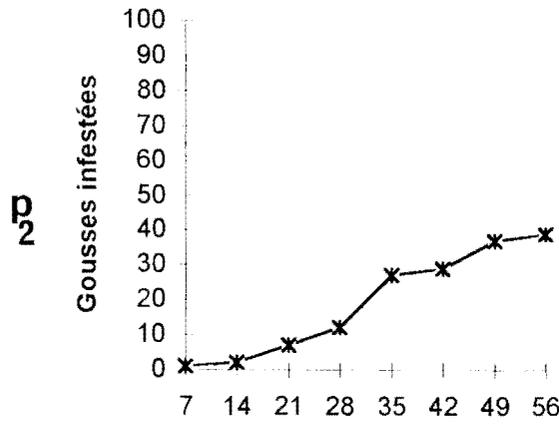
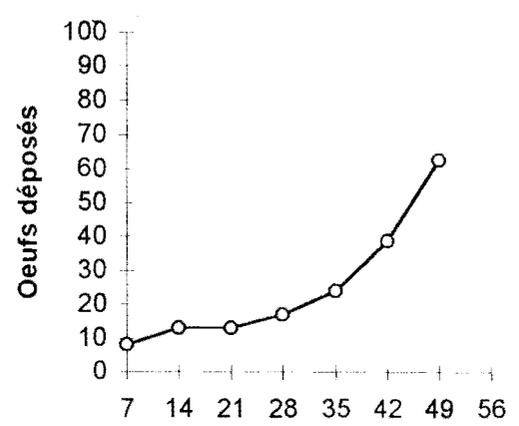
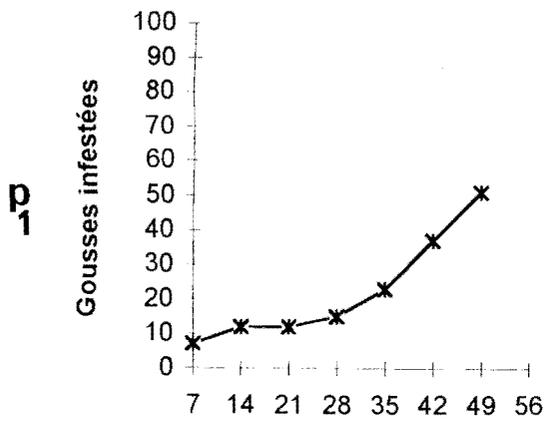
Les courbes d'évolution du nombre de gousses infestées (Fig. 14 et 16) et du nombre d'adultes émergés (Fig. 15 et 17) présentent la même tendance que celles du nombre d'oeufs déposés au niveau de chacune des deux variétés. La teneur en eau des gousses s'étant stabilisée dès le 7<sup>ème</sup> jour à environ 4% H.R., l'accroissement de ces paramètres est sûrement lié au temps de séchage.

Le taux de gousses infestées de l'arachide stocké en vrac est de 74,5% (parcelles P<sub>4</sub> et P<sub>5</sub>). Il se révèle plus élevé que celui de l'arachide gardées dans des sacs en polypropylène tressé (33,5%) à  $p < 0,01$ .

Le taux de mortalité embryonnaire et larvaire est en moyenne élevé jusqu'à 7 jours après la récolte mais diminue rapidement en fonction du temps de séchage (Fig. 15 et 17).

Les tests comparatifs de l'infestation des deux variétés (Fig. 18) montrent que les niveaux d'infestation sont pratiquement identiques chez la variété 73-33 et la variété GH 119-20; aucune différence statistiquement significative n'est observée ( $P > 0,05$ ) sauf au niveau du taux de mortalité à 7 jours après la récolte ( $p < 0,01$ ).

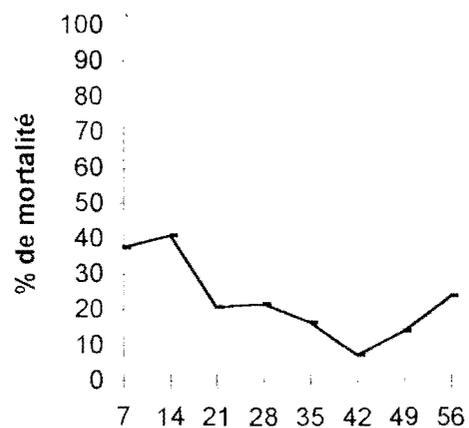
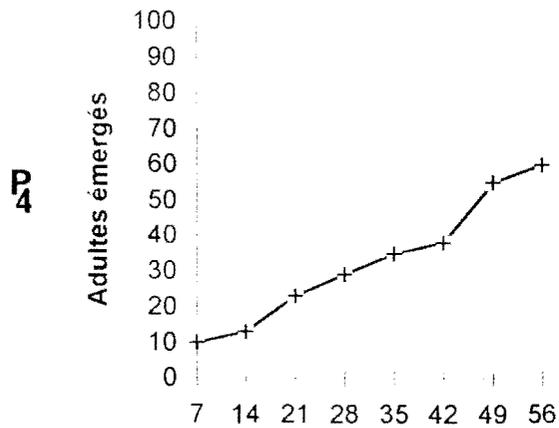
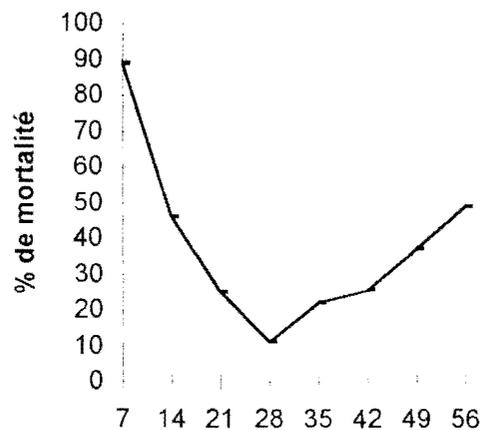
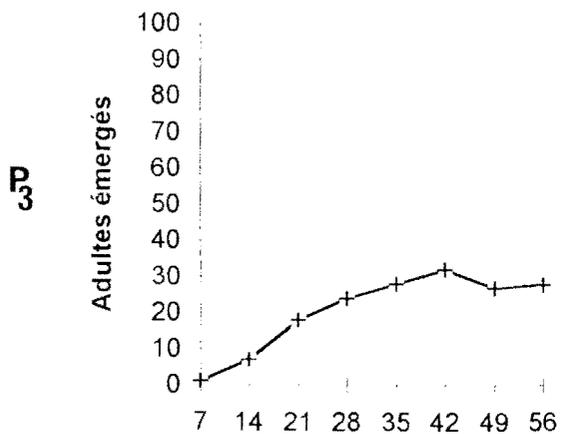
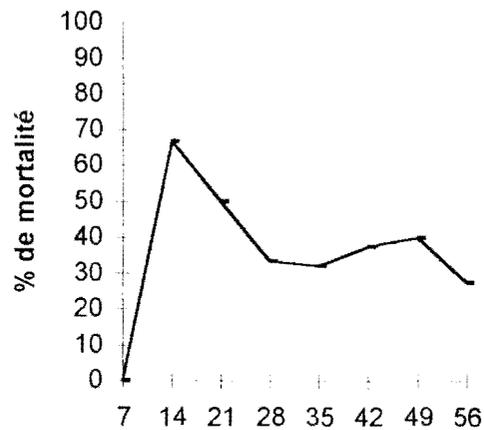
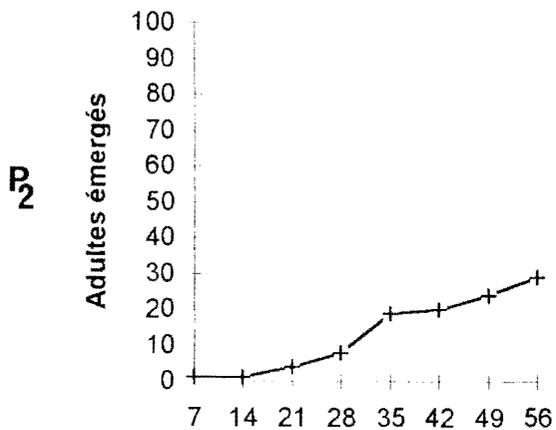
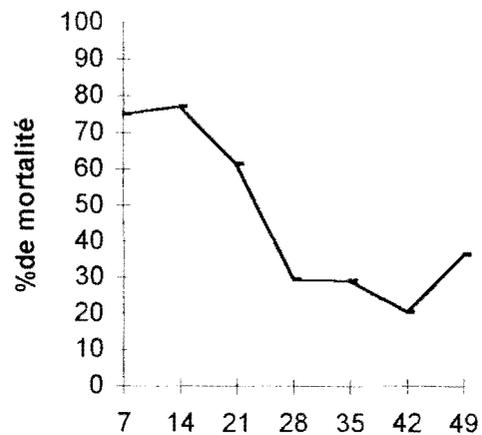
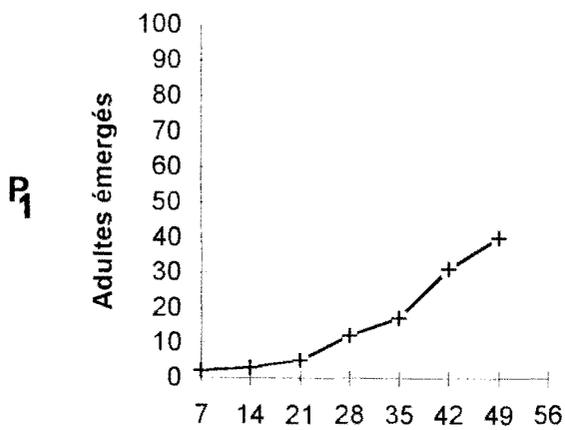
Les pourcentages de perte en poids des échantillons prélevés au dernier jour de séchage et conservés 2 mois au laboratoire sont de 0,19% chez la variété 73-33 et de 0,21% chez la variété GH 119-20 en deux mois de stockage. Dans chacune des variétés, il existe une forte corrélation entre la perte en poids et le nombre de *C. serratus* émergés pendant la même période:  $R = 0,9607$  pour la 73-33 et  $0,9658$  pour la GH 119-20,  $p < 0,001$ . Les équations de régression sont pour la variété 73-33:  $Y = 0,0108X - 0,0263$  et pour la variété GH-119-20  $Y = 0,0143X - 0,0402$  où  $X$  représente le nombre de *C. serratus* issu de chaque échantillon (Fig. 19).



Jours après récolte

Jours après récolte

Figure 14: Evolution du nombre de gousses infestées (colonne de gauche) et du nombre d'oeufs déposés sur les gousses (colonne de droite) par *C. serratus* au cours de l'infestation de la variété d'arachide 73-33 dans les parcelles P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> et P<sub>4</sub>.



Jours après récolte

Jours après récolte

Figure 15: Evolution du nombre d'adultes émergés (colonne de gauche) et du taux de mortalité (colonne de droite) de *C. serratus* au cours de l'infestation de la variété d'arachide 73-33 dans les parcelles P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> et P<sub>4</sub>.

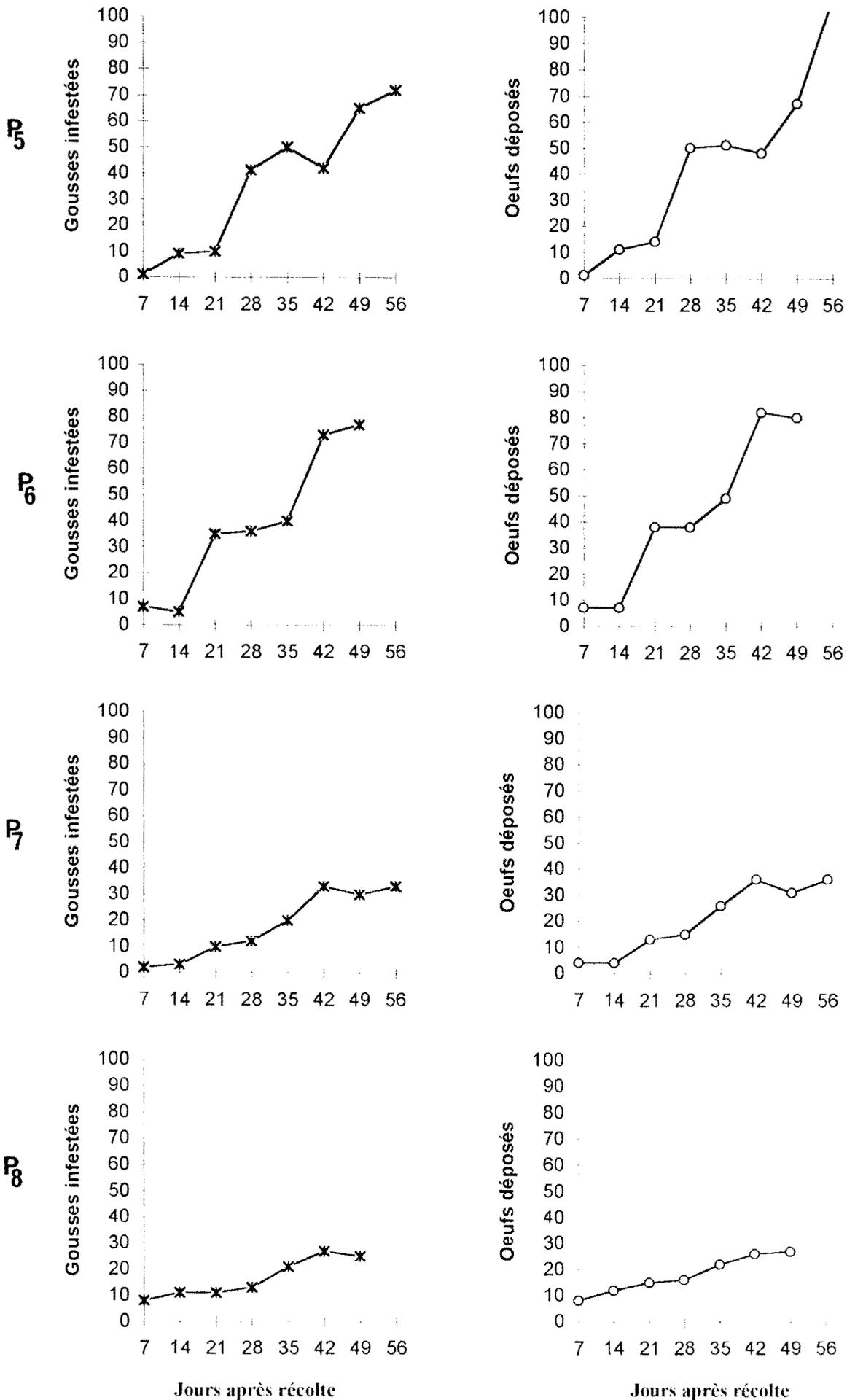


Figure 16: Evolution du nombre de gousses infestées (colonne de gauche) et du nombre d'oeufs déposés sur les gousses (colonne de droite) par *C. serratus* au cours de l'infestation de la variété d'arachide GH 119-20 dans les parcelles P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub>, P<sub>7</sub> et P<sub>8</sub>.

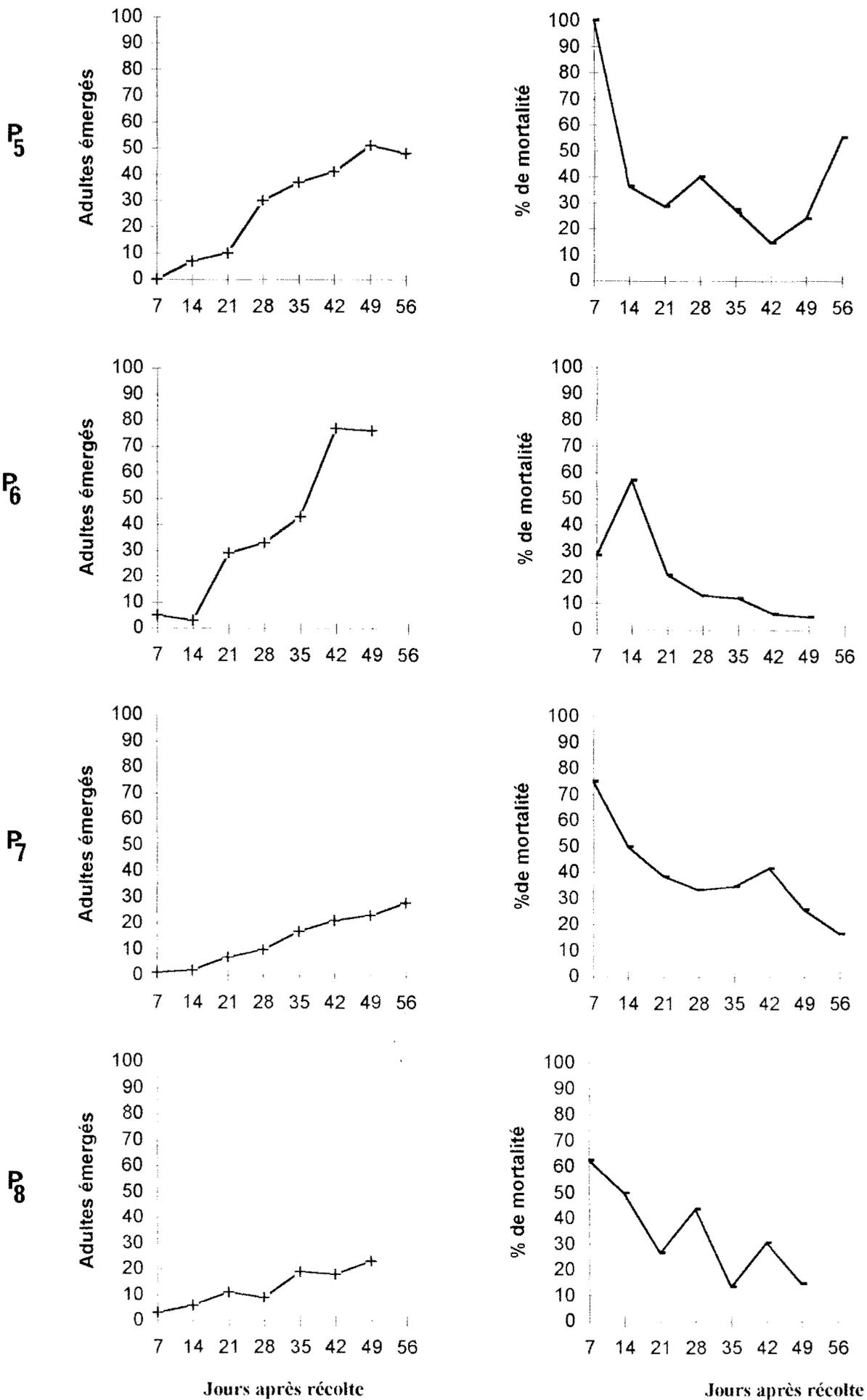


Figure 17: Evolution du nombre d'adultes émergés (colonne de gauche) et du taux de mortalité (colonne de droite) de *C. serratus* au cours de l'infestation de la variété d'arachide GH 119-20 dans les parcelles P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub>, P<sub>7</sub> et P<sub>8</sub>.

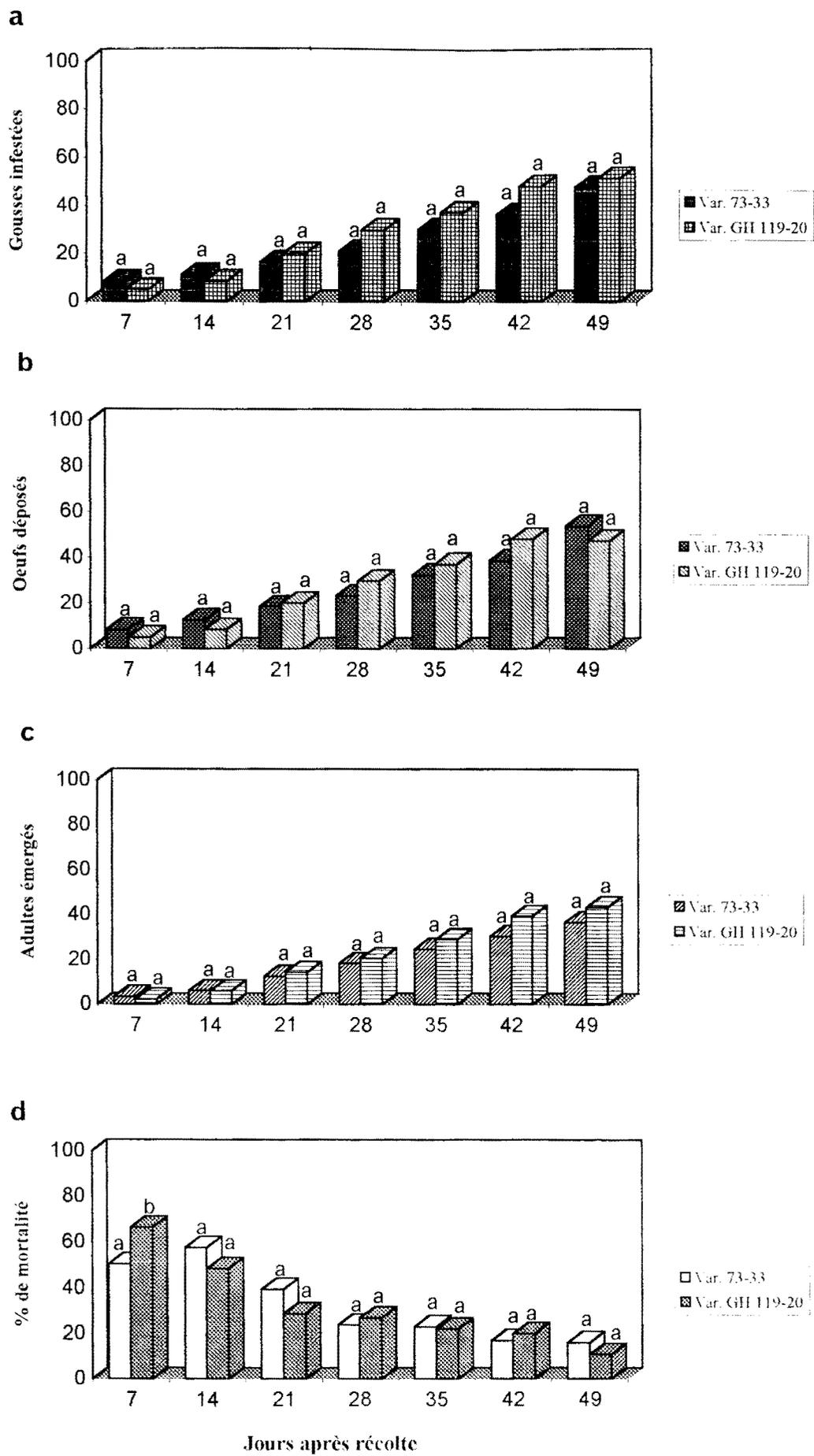
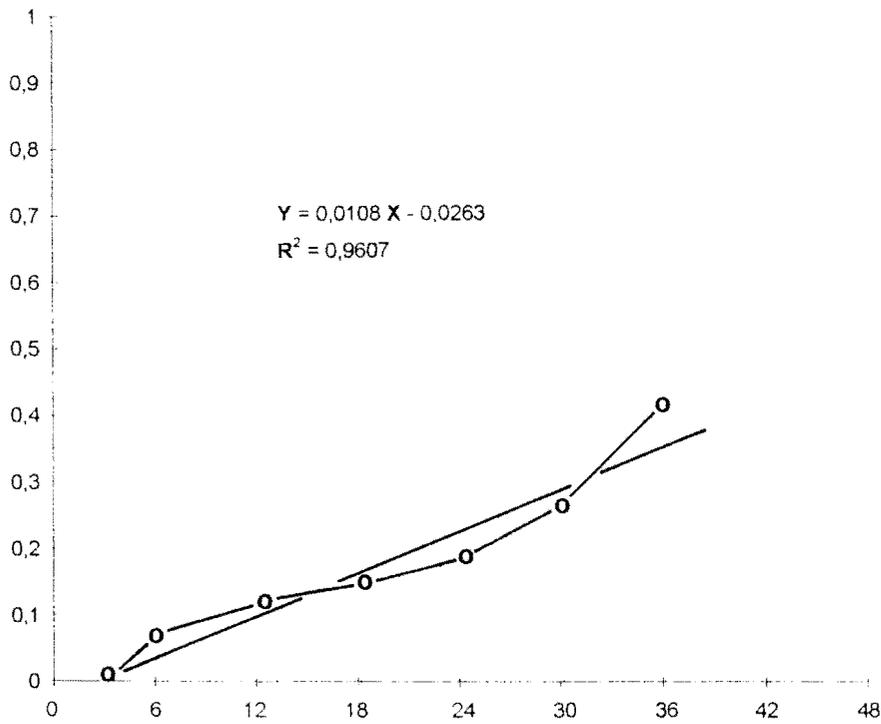


Figure 18: Evolution de l'infestation par *C. serratus* des deux variétés d'arachide (73-33 et GH 119-20) sur 1000 gousses au cours de 7 semaines de séchage: **(a)**, nombre de gousses infestées; **(b)**, nombre d'œufs déposés sur les gousses; **(c)**, nombre d'adultes émergés des gousses infestées; **(d)**, pourcentage de mortalité totale de *C. serratus*.

Variété 73-33



Variété GH 119-20

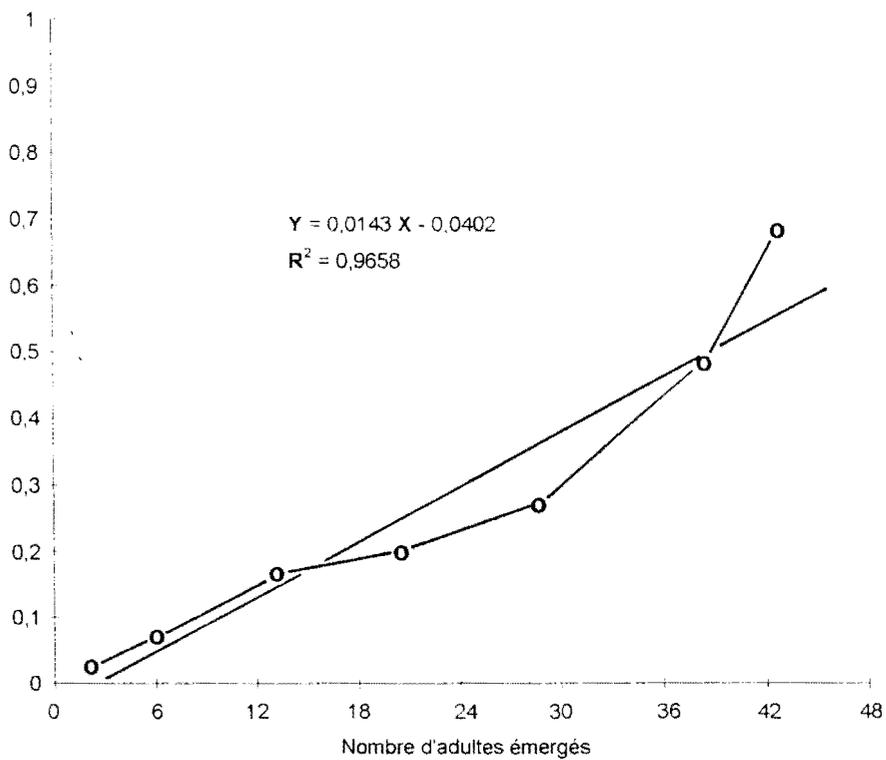


Figure 19 : Corrélation entre le nombre moyen d'adultes émergés et le pourcentage de perte en poids.

- % de perte en poids (valeurs observées)
- Droite de régression (% de perte en poids)

Par ailleurs, des oeufs de la bruche de l'arachide ont été pondus, en août, sur les gousses de *Piliostigma reticulatum* et sur celles de *Tamarindus indica* accrochées dans les arbres hôtes (Tab.2). En ce qui concerne *P. reticulatum*, les gousses des deux arbustes choisis ont reçu pratiquement le même nombre d'oeufs (6 oeufs pour l'arbre le plus éloigné et 7 pour l'autre situé à proximité des greniers). Sur *T. indica*, seules les gousses de l'arbre situé dans le village ont reçu 4 oeufs. Les gousses de *Cassia sieberiana* n'ont reçu aucune ponte. Sur *B. rufescens*, des oeufs de *C. serratus* ont été observés sur les gousses persistantes sur l'arbre mais aucun oeuf nouvellement pondu n'est observé sur les gousses que nous y avons accrochées.

Six (6) femelles de *C. serratus* ont été capturées avec les pièges à carton ondulé ; toutes sur les *P. reticulatum*: 2 sur celui qui se situe près du village et 4 sur celui qui est loin des greniers. Nous n'avons trouvé ni bruche sous les craquelures de l'écorce des arbres, ni cocon au sol. Les résultats sont pratiquement identiques en octobre, si ce n'est que les gousses des tamariniers n'ont reçu aucun oeuf pendant cette période (Tab. 2).

		<i>B. rufescens</i>	<i>C. sieberiana</i>		<i>P. reticulatum</i>		<i>T. indica</i>	
		unique	P	L	P	L	P	L
Août	Oeufs	0	0	0	7	6	4	0
	Adultes	0	0	0	2	4	0	0
Octobre	Oeufs	0	0	0	6	5	0	0
	Adultes	0	0	0	3	4	0	0

Tableau 2: Nombre d'oeufs et d'adultes de *C. serratus* obtenus des plantes hôtes sauvages durant la saison hivernale (Août-Septembre).

P = plante hôte proche des greniers ; L = plante hôte éloignée des greniers d'au moins 3 km.

### II.1.2- Prospection géographique

Dans les localités visitées lors de la prospection, les techniques culturales sont pratiquement identiques à celles pratiquées à Keur Baka. La bruche de l'arachide est connue dans toutes les zones visitées sous le nom de "kouli". Ses infestations sur arachide sont connues des villageois. Les dégâts sont d'importance variable selon les zones ; les attaques sont décelables, soit au moment du battage, soit au cours du stockage.

La distribution des différentes plantes hôtes suit visiblement les conditions pluviométriques de la zone visitée. De Gnit à Médina Ngewel, on rencontre quelques pieds isolés de *B. rufescens* et de *T. indica* qui produisent des gousses. Les deux pieds de *P. reticulatum* trouvés respectivement à Yamane et à Ndimbou sont morts depuis longtemps.

Des pieds de *P. reticulatum* productifs de gousses sont visibles, en même temps que des Bauhinias et des Tamariniers de Maka Touré à Koki. Entre Boulal et Warkhoh ne subsistent que de rares pieds de *B. rufescens*. De Linguère jusqu'à 18 km de Barkédji, *T. indica*, *B. rufescens* et *P. reticulatum* sont présents et produisent des gousses. Nous n'avons rencontré aucun pied de *Cassia sieberiana* durant cette prospection. La limite nord de l'aire de distribution de cette espèce est beaucoup plus au sud.

Dans chacune des localités, la présence d'une plante hôte donnée, de même que les différents niveaux de perte en poids de l'arachide, déterminées après cinq mois de stockage au laboratoire, sont consignés dans le Tableau 2.

Villages	Plantes hôtes de <i>C. serratus</i>					% de perte en poids de l'arachide
	Arachide	<i>B. rufescens</i>	<i>C. sieberiana</i>	<i>P. reticulatum</i>	<i>T. indica</i>	
Gnit	■	■			■	0
Diohor	■	■			■	0
Golum	■	■			■	0
Yamane	■	■			■	0
Ndimbou	■	■			■	0
Darou salam		■			■	*
Médina Ngewel		■			■	*
Maka Touré	■	■		■	■	22,1
Nguer Malal	■	■		■	■	27,4
Thioumadé	■	■		■	■	32,8
Niomré	■	■		■	■	15,3
Louga	■	■		■	■	86,4
Ourack	■	■		■	■	73,7
Koki	■	■		■	■	69,8
Thiamène	■	■		■	■	19,4
Boulal	■	■			■	0,8
Dahra	■	■			■	0,4
Some	■	■			■	0
Warkhoh	■	■			■	0
Linguère	■	■		■	■	36,4
Niack	■	■		■	■	52,3

Tableau 3: Perte en poids de l'arachide après cinq mois de stockage dans chacune des localités prospectées.



Présence de plantes hôtes de *C. serratus*

\* = valeur indéterminée

## I.2- DISCUSSION

Certains auteurs comme Conway (1975 et 1983), Matokot *et al.* (1987) et Ali-Diallo (1991) ont émis l'idée que la connaissance de la dynamique de l'infestation des stocks d'arachide par *C. serratus* devrait conditionner la mise au point d'une stratégie de lutte contre cet insecte. Or, cette question essentielle obtient, selon les auteurs des réponses divergentes.

Pour Appert (1954) au Sénégal et Green (1959) en Gambie, ces hôtes sauvages jouent un rôle insignifiant, les infestations s'effectuant une fois la récolte rentrée, à partir des graines bruchées subsistant dans les greniers.

Sagot & Bouffil (1935), Corby (1941) au Nigéria, Conway (1983) en Gambie et Ndiaye (1991) au Sénégal, voient dans les mêmes plantes hôtes sauvages l'origine de l'infestation. Conway indique le rôle possible de petits effectifs de gousses résiduelles des plantes voisines des champs, après la saison des pluies, dans la contamination des arachides, et envisage que la diminution des effectifs de *C. serratus* dans les hôtes primaires (*P. thonningii*, *T. indica*, *C. sieberiana*), au moment des récoltes d'arachide en octobre-novembre, pourrait constituer un moyen d'atténuation ou d'élimination des infestations au champ. A l'appui de cette hypothèse, Robert (1984) note que le degré d'infestation des meules d'arachide est lié à leur proximité des plantes hôtes naturelles et qu'il suffirait d'éloigner au maximum les meules de ces plantes pour diminuer l'infestation initiale au champ. Nos résultats révèlent, certes, que la proximité des plantes hôtes de l'arachide en séchage semble augmenter les niveaux d'infestation puisque les parcelles 2, 7 et 8 (les plus éloignées des plantes hôtes) présentent les plus faibles taux d'infestation, mais il nous semble hâtif, en l'absence de données précises sur les capacités migratoires de la bruche de l'arachide, de tirer la même conclusion que Robert. De plus, pour cet auteur, les premières infestations pourraient se produire dans les cultures en place, sur les quelques gousses qui affleurent le sol. Ce phénomène a été déjà constaté chez un autre bruchidae: *Callosobruchus subinnotus*, qui s'attaque à une Fabaceae à graines hypogées: *Voandzeia* sp. (Decelle, 1981). Ceci reste à préciser chez *C. serratus* qui ne peut pas se développer dans des gousses ayant une teneur en eau supérieure à 40% comme c'est le cas des gousses d'arachide en fin de maturation (Ndiaye, 1991 ; observations personnelles).

Nos résultats révèlent plutôt que les premières infestations se produisent lors du séchage, avant la rentrée des récoltes dans les greniers. Celles-ci, quoique faibles, se poursuivent dans les greniers et peuvent être à l'origine d'importantes pertes quantitatives à cause du caractère polyvoltin de la bruche.

Il est intéressant de noter que le stockage des gousses d'arachide dans des sacs de polypropylène tressé semble offrir une meilleure protection des récoltes que celui fait en vrac dans les greniers. En effet le pourcentage de gousses infestées, pendant une semaine de stockage, de l'arachide conservée en vrac (74,5%), est plus de deux fois supérieur à celui des arachides mises en sacs (33,5%). Dans un stockage de type semi-étanche (sacs en polypropylène tressé), la composition de l'atmosphère interstitielle est modifiée par la respiration des graines elles-même mais aussi et surtout par celle des insectes et des moisissures qui peuvent se développer sur elles en fonction de la teneur en eau et de la température. On aboutit à un autoconfinement du à une raréfaction de l'oxygène et à une augmentation de la teneur en dioxyde de carbone, telles que les insectes présents ne peuvent survivre et les moisissures se développer. L'évaluation d'un tel "système amélioré de conservation" dans des conditions tropicales simulées au laboratoire a donné des résultats encourageants pour le riz paddy (Haryadi, 1987) en montrant notamment que les prélèvements de grains ne nuisent pas à l'anaérobiose partielle. De telles pratiques seraient certainement très concluantes surtout si les sacs étaient pleinement remplis d'arachide et hermétiquement fermés, accélérant ainsi le confinement et rendant en même temps difficile les déplacements et la rencontre des bruches; l'infestation peut ainsi disparaître à la première génération d'insectes (Matokot *et al.*, 1987).

D'autre part, il est évident que la contamination de l'arachide peut avoir une double origine (greniers et plantes hôtes) mais, en s'appuyant sur nos propres résultats, les travaux de Matokot *et al.* (1987) au Congo, de Ndiaye (1991) au Sénégal et de Ali-Diallo (1991) au Niger, on peut affirmer que même en l'absence de bruche dans les greniers, l'infestation de l'arachide se produit au champ, en fin de saison des pluies, dans une zone où les Caesalpiniaceae hôtes sont présents. Ces légumineuses ne produisent et ne portent pourtant plus de gousses pendant cette période. Se pose donc le problème de la survie de *C. serratus* durant la saison hivernale, en l'absence de substrats de développement.

Nous avons pu vérifier que des adultes de *C. serratus*, sexuellement actifs, persistent dans la nature, même pendant l'hivernage. Cette activité de la bruche pendant la saison hivernale a été aussi relevée par Ndiaye (1991) sur les *T. indica*, malgré la quasi ou totale absence de gousses sur cet arbre. Il est intéressant de noter, comme l'ont révélé Pierre & Huignard (1990), que malgré la persistance des gousses sur les Bauhinias, les pontes sont pratiquement inexistantes sur cet arbuste durant la saison des pluies. Par contre *P. reticulatum* semble mieux retenir les rares adultes de *C. serratus*, probablement grâce à la morphologie de ses feuilles qui, tombées à terre, peuvent constituer un abri pour les bruches. Cependant, malgré l'éloignement du village (3 à 4 km) de l'un des Piliostigmas ayant reçu des oeufs, il reste difficile, en l'absence de données sur les capacités de

déplacement de *C. serratus*, de se prononcer sur la provenance (grenier ou nature) des femelles infestant les gousses accrochées sur l'arbre.

Selon les auteurs, différentes situations peuvent expliquer la survie de *C. serratus* durant la saison des pluies:

-Dans certaines zones, les hôtes naturels peuvent encore porter, après la saison des pluies, des gousses de l'année précédente. Ces gousses, bien que faiblement attaquées, pourraient suffire au maintien de l'espèce (Robert, 1984 ; Ali-Diallo, 1991). Cette explication envisagée aussi par Prevett (1966 a) n'est pas satisfaisante puisque aussi bien à Keur Baka qu'au Nord du Sénégal, régions où la pré-infestation existe, nous n'avons pas trouvé ces vieilles gousses.

-L'existence probable d'une diapause imaginale à l'intérieur du cocon (Appert, 1954), observée en début de saison de pluies par Labeyrie (1981) en Haute-Volta, pourrait permettre à *C. serratus* d'attendre les nouvelles gousses. L'augmentation de l'humidité relative, au début de l'hivernage pourrait entraîner la levée de cette diapause (Conway, 1983). De même, Gagnepain *et al.* (1986) suggèrent l'existence d'une quiescence chez *C. serratus*, en savane de Lamto où, du fait de feux de brousse, il ne persiste pas de gousses de son unique plante hôte (*Piliostigma thomningii*) pendant la saison des pluies. Ce phénomène de quiescence, tel que décrit par ces auteurs, est très contesté (Ndiaye, 1991 ; Ali-Diallo, 1991 ; Delobel, 1995). De plus, nous n'avons observé, au cours de nos missions en brousse et de nos travaux de laboratoire, ni diapause, ni quiescence reproductrice chez *C. serratus* quelques soient les conditions climatiques ou biocénotiques.

Nous pensons, par contre, que les adultes qui émergent à la fin de la saison sèche (période où il y a de nombreuses gousses sur les arbres) et ceux qui parviennent à sortir, entre fin juillet et début août, des rares gousses en décomposition sur le sol, sont responsables de l'infestation initiale de l'arachide. Ces bruches trouvent pendant la saison des pluies de quoi s'alimenter (pollen, nectar). Or, en présence de nourriture adéquate (pollen, eau), des possibilités de survie d'une durée moyenne de 80 à 90 jours, ont été observées au laboratoire (Delobel, 1989a ; observations personnelles). Ceci permet d'envisager des longévités dans la nature dépassant très largement 3 mois. En période de chaleur intense ou de fortes pluies (facteurs favorisant la mortalité de *C. serratus*), les bruches s'abritent, par phototactisme négatif, sous les feuilles sèches tombées au sol. Nos observations semblent confirmer celles de Janzen (1974, 1980) et de Ali-Diallo (1991) selon lesquelles les insectes se maintiendraient au niveau de leur plante hôte même lorsque les ressources trophiques et le substrat de développement se réduisent fortement comme c'est le cas en période hivernale. Prevett (1966a) au Nigéria, Mapangou-Divassa (1985), Ndiaye & Jarry (1990)

notent aussi le maintien d'une faible population et une persistance de l'activité reproductrice de *C. serratus*, dans des conditions similaires.

Ces résultats confirment l'existence d'une infestation de l'arachide par *C. serratus* dès le séchage au champ. Les légumineuses hôtes semblent jouer un rôle déterminant dans cette infestation initiale. Ceci est d'autant plus vrai que la tournée de prospection menée sur une zone géographique assez étendue nous révèle que l'importance de *C. serratus* dans les différentes zones visitées et les dégâts qu'elle engendre depuis le champ semblent davantage liés à la présence ou l'absence de *P. reticulatum* plutôt qu'à des techniques culturales.

Dans les zones où *Piliostigma reticulatum* est abondant et productif de gousses (de Maka Touré à Koki et de Linguère à Niack), l'infestation de l'arachide par *C. serratus* se produit dès le début du séchage. Les niveaux de perte en poids sec de l'arachide sont élevés et varient de 22,1% à Maka Touré à 86,4% à Louga ; les premiers adultes sont déjà visibles dans les meules ou au moment du battage.

L'infestation de l'arachide se révèle quasiment nulle dans les localités où *Piliostigma reticulatum* est absent (de Gnit à Médina Nguewel et de Boulal à Warkhoh). La perte en poids sec de l'arachide, après cinq mois de stockage, varie de 0 à 0,8% dans ces zones. Or, dans ces endroits, sont présents d'autres hôtes sauvages de *C. serratus* (*B. rufescens* et *T. indica*), sur lesquels un taux d'infestation de 2 à 3 *C. serratus* par gousse est relevé. Les bruches inféodées à ces hôtes semblent maintenir leur cycle biologique sur leur plante hôte naturelle, n'infestant pratiquement pas l'arachide. Ceci est particulièrement possible sur *B. rufescens* qui a en permanence des gousses mûres. De même, les graines de tamarinier, résidus culinaires, peuvent constituer des substrats de développement pouvant maintenir la souche en l'absence de gousses sur les arbres. Ces observations sont en contradiction avec les affirmations selon lesquelles *B. rufescens* (Pierre & Huignard, 1990) et *T. indica* (Ndiaye, 1991) jouent un rôle majeur dans l'infestation originelle de l'arachide séchée au champ.

Malgré l'imprécision de la méthode que nous avons utilisée (prélèvement unique), la présence des Piliostignias aux abords des champs semble déterminante dans l'infestation de l'arachide comme l'ont montré Matokot *et al.* (1987) au Congo.

Cette prospection ne saurait prétendre à de réelles ambitions de représentativité mais nous n'avons pas non plus des raisons de penser que l'échantillon de travail ait été atypique. Les résultats de laboratoire, portant sur la comparaison morphométrique et génétique de bruches prélevées sur arachide nouvellement récoltée et sur les principales Caesalpiniacées sauvages, permettront sans doute, de confirmer ou d'infirmer ces résultats.

(2,3759), Tama-Bauh (2,6130), Tama-Ara (2,3365), Ara-Cassia (2,5277), Ara-Pilio (2,2079) Ara-Bauh (2,3481), Cassia-Pilio (2,1643), Cassia-Bauh (2,0099), Pilio-Bauh (2,1728). Le taux de classement exact obtenu par cette première analyse est de 84,7%.

### II.1.2- Données transformées

L'examen du F révèle que le pouvoir discriminant de la plupart des nouvelles variables est inférieur à ce qu'il était précédemment; c'est le cas en particulier des mensurations de l'antenne (F=3,31), de la longueur de l'élytre (F=8,84), de la largeur de l'élytre (F=11,93), de la longueur maximale de la coxa 3 (F=5,35), de la longueur maximale du pronotum (F=8,36). Par contre le pouvoir discriminant du nombre de dents au fémur 3 a considérablement augmenté. Sa valeur F est passée de 4,55 à 20,46. Les variables ayant les plus faibles pouvoirs discriminants sont la largeur maximale du tibia 3 (F=0,87) et la plus grande dimension du trou d'insertion de la coxa 2 (F=0,98) avec respectivement une probabilité de classement erroné de 48,32% et 42,25%. Les variables les plus efficaces sont les suivantes: *den* (F=20,46), *lf2* (F=11,99), *lae* (11,93), *lpa* (F=10,19), *loe* (F=8,84), *la3* (F=8,74), *lap* (F=8,36), *lac* (F=7,96).

L'axe 1 a perdu 11,5% de son inertie; le pouvoir discriminant des autres axes s'est amélioré. La meilleure qualité de représentation est toujours obtenue avec le plan 1-2 (Fig. 20b); son pouvoir discriminant est de 70,6%.

L'examen des corrélations entre variables et axes discriminants montre que l'axe 1 (horizontal) permet de différencier le groupe Ara-Tama de Bauh-Cassia principalement grâce aux variables *lan* (longueur maximale de l'antenne), *lae* (largeur maximale de l'élytre), *den* (nombre de dents au fémur 3) et *lmc* (longueur maximale de la coxa 3). L'axe 2 (Vertical) discrimine Ara de Tama par *dvy* (distance minimale entre les yeux ventralement), *lmf* (distance minimale entre les yeux dorsalement), *loc* (longueur maximale de la cellule radiale) et *den* et Cassia de Bauh principalement par *la3* (largeur du fémur 3) et *den* (nombre de dents au fémur 3). L'axe 3, orthogonal au plan 1-2 et portant 17% d'inertie, discrimine Pilio des autres groupes notamment par *lf2* (longueur du fémur intermédiaire), *LT2* (longueur du tibia intermédiaire), *lf3* et *lt3* (longueur et largeur du fémur et du tibia postérieurs). La distance de Mahalanobis entre la souche obtenue de l'arachide et celle issue de *Piliostigma reticulatum* est inférieure à ce qu'elle était avant transformation tandis que le centre de gravité de Bauh s'est éloigné de celui de Cassia ainsi que la souche Cassia de Pilio.

Le classement des 150 individus est moins bon que précédemment; le taux exact de "bien classés" est de 79,3%

## II.2- DISCUSSION

### II.2.1- Validité des méthodes employées

La comparaison des tableaux de corrélation montre que la transformation (rapport entre chaque mensuration et la mesure de la largeur maximale de la tête) modifie profondément les niveaux de corrélation entre variables. La corrélation apparente de la plupart des variables est due en grande partie à un facteur commun assimilable en première approximation à un facteur taille. La diminution du poids de ce facteur se traduit par une baisse de la discrimination globale entre les 5 souches, tandis que la distance entre le centre de gravité de la souche obtenue de *Cassia sieberiana* et ceux des souches issues de *Bauhinia rufescens* et *Piliostigma reticulatum* s'est légèrement accrue.

### II.2.2- Caractéristiques des souches étudiées

Comme le révèlent les distances de Mahalanobis (entre centres de gravité) et le taux de classement exact, les cinq souches étudiées sont assez nettement différenciées. Les souches Tama et Ara diffèrent davantage entre elles qu'avec les autres. La présence d'un individu provenant de *Tamarindus indica* dans le cercle délimitant la souche Ara s'explique par la longueur de son antenne. Ce sont donc, dans une première approche, des facteurs associés à la taille qui distinguent les cinq souches. D'une manière générale, la souche obtenue du Tamarinier est la plus grande, suivie de celle issue de l'arachide. Viennent ensuite la souche provenant de *Piliostigma reticulatum*, la souche obtenue de *Cassia sieberiana* et enfin celle issue de *Bauhinia rufescens*. Ces différences de taille trouvent sans doute leur origine dans des différences au niveau de la qualité nutritionnelle plutôt qu'au niveau de la taille ou du poids des graines hôtes. En effet, il n'y a pas de rapport direct entre la taille des bruches et le poids des graines utilisées comme support de développement ; les bruches obtenues de *Tamarindus indica* ont une taille plus élevée que celles provenant de l'arachide alors que les graines d'arachide ont un poids moyen ( $511,03 \pm 0,074$  mg) supérieur à celui des graines du tamarinier ( $388,08 \pm 0,055$  mg). La même remarque peut être faite entre la souche issue de *Cassia sieberiana* dont les graines sont les plus légères et celle obtenue de *Bauhinia rufescens*. Deux espèces (*B. rufescens* et *P. reticulatum*) produisent d'ailleurs des graines ayant des poids assez similaires ( $115,71 \pm 0,017$  et  $120,09 \pm 0,027$  mg), dans lesquelles se développent des bruches de taille inégale. Cependant, l'effet de la quantité de matière nutritive de la graine sur la taille de la bruche de l'arachide ne doit pas être négligé puisqu'on observe que les *C. serratus* ayant les plus grandes tailles sont

obtenues des graines du tamarinier et de l'arachide. Par contre, l'idée de surpopulation qui pourrait entraîner une compétition larvaire pouvant aboutir à une miniaturisation des bruches est à écarter car il ne s'est développé qu'une bruche par graine dans nos élevages.

Le facteur taille intervient certes dans la différenciation entre souches mais l'analyse des données transformées montre qu'il est loin d'être le seul. Une fois ce facteur éliminé, neuf variables principales permettent de différencier les cinq souches étudiées. Il s'agit de: *lan*, *loe*, *lae*, *dvy*, *lmf*, *lf3*, *lt3*, *loc*, et *den*. Ainsi, en considérant la mesure de chaque variable obtenue après transformation, on peut dire qu'à taille égale, la souche issue de *Tamarindus indica* possède des antennes plus longues (3,25 mm chez Tama, 3,22 chez Ara, 3,03 chez Pilio, 2,84 chez Cassia et 2,83 chez Bauh), des yeux plus rapprochés aussi bien ventralement que dorsalement, des élytres plus grands, un nombre de dents fémorales plus faible (10,03 en moyenne contre 10,83 chez Bauh, 10,50 chez Ara, 10,40 chez Pilio et 10,36 chez Cassia). La souche obtenue de l'arachide possède les yeux les plus écartés. Elle a une cellule radiale et un tibia postérieur plus longs (mais proches de ceux de Pilio). La souche provenant de Cassia, en plus des yeux aussi rapprochés ventralement que ceux de Tama, possède le plus long fémur postérieur. La souche obtenue de *Bauhinia rufescens* possède des caractéristiques inverses de celles de Tama (antennes plus courtes, élytres plus petits, nombre de dents fémorales plus élevé). Les autres variables n'interviennent que dans une moindre mesure dans la discrimination.

Cette étude montre qu'il existe des différences morphologiques (taille et forme) au niveau des souches étudiées. C'est la souche issue de *Piliostigma reticulatum* qui présente la plus grande variabilité morphologique bien que les graines de cette espèce soient apparemment homogènes. Bauh, Cassia et Tama sont plus nettement différenciées et se distinguent bien de Ara. Les souches provenant de *Piliostigma reticulatum* et de l'arachide sont morphologiquement semblables. Les distances géographiques entre souches ne semblent pas déterminantes en ce qui concerne les ressemblances ou différences morphologiques; en effet Cassia, géographiquement proche de Pilio (environ 75 km à vol d'oiseau) est cependant assez nettement distincte de celle-ci ; Ara et Pilio, morphologiquement semblables, sont pourtant distantes d'environ 220 km. Par contre le rôle de la plante hôte semble important dans le déterminisme de la morphologie de la bruche de l'arachide d'autant plus que chaque échantillonnage a été fait dans une zone où plusieurs espèces hôtes sont présentes. On peut ainsi penser qu'il existe des adaptations de *Caryedon serratus* à des hôtes variés et peut-être des souches génétiquement isolées, permettant à l'espèce d'utiliser aussi bien les stocks d'arachide lorsque ceux-ci deviennent accessibles que les graines de Caesalpiniaeeae sauvages. Les échanges seraient plus importants entre les bruches de *Piliostigma reticulatum* et celles de l'arachide.

### III- DIFFERENCIATION GENETIQUE DE SOUCHES SAUVAGES ET ADAPTEES DE *C. SERRATUS*

#### III.1- RESULTATS

##### III.1.1- Les systèmes enzymatiques

Parmi les systèmes testés, deux (*Endo* et *Pgd*) ne se colorent pas bien ; *Icd* et *Adh* se revelent monomorphes. Les *Dta*, *Pgi*, *Hk* et *Est* sont polymorphes mais présentent de nombreuses bandes irrégulières, mal séparées et très souvent illisibles.

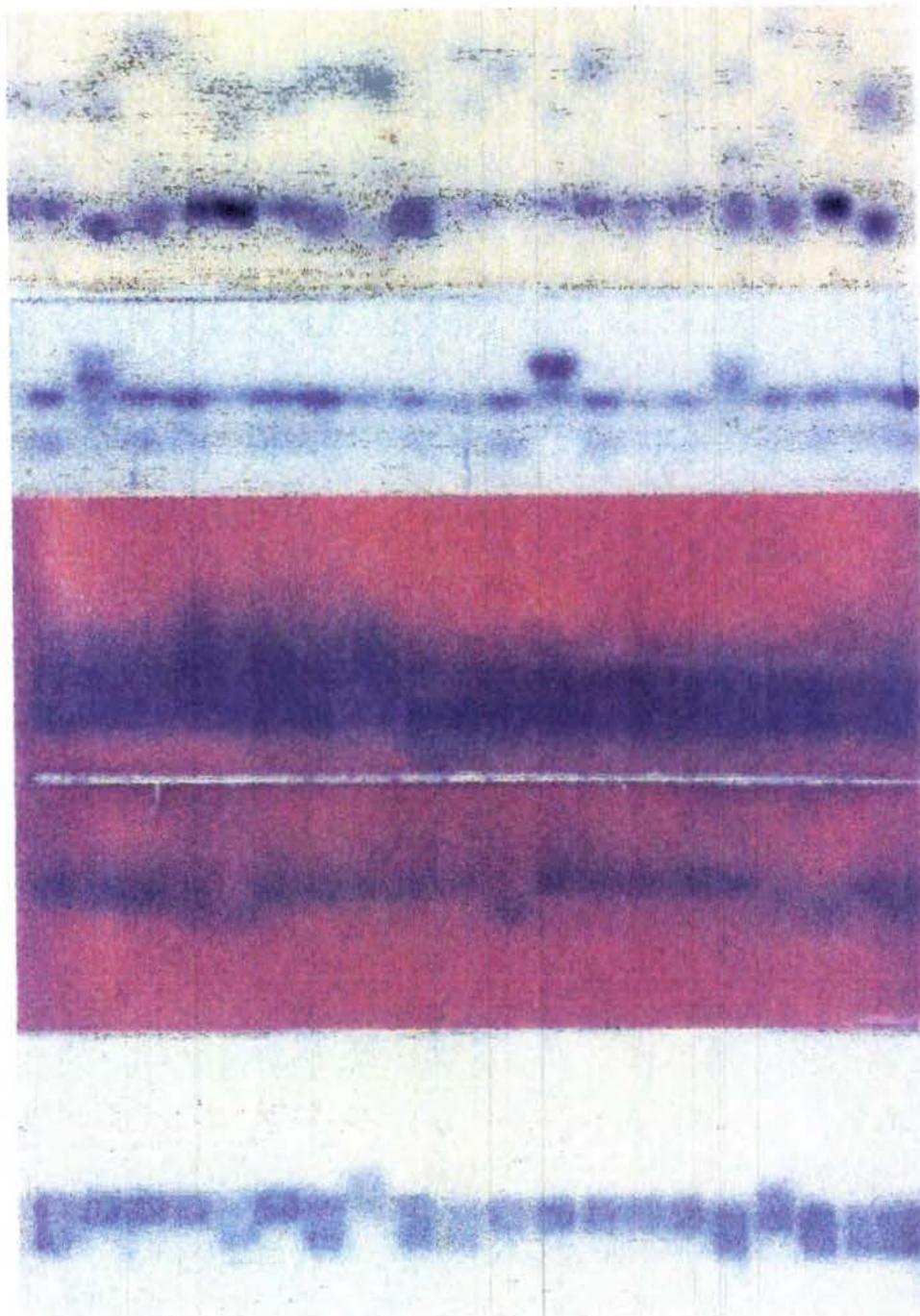
L'interprétation quantitative et génétique porte donc sur 8 loci de 6 systèmes enzymatiques : Isocitrate-déshydrogénase (ICD) E.C.1.1.1.42\*, Malate-déshydrogénase (MDH) E.C. 1.1.1.37, Leucine-amino-peptidase (LAP) E.C. 3.4.1.1., Alcool-déshydrogénase (ADH) E.C. 1.1.1.1., Glutamate-oxaloacétate-transaminase (GOT) E.C. 2.6.1.1. et la Phosphoglucomutase (PGM) E.C. 5.4.2.2.

##### III.1.2- Les zymogrammes polymorphes (Fig. 21)

-LAP, E.C. 3.4.1.1 : les profils présentent de nombreux niveaux de migration qui peuvent être interprétés comme deux loci pour un enzyme monomérique: un locus "lent" (*Lap-1*) codant pour un enzyme à migration lente, actif et présentant trois électromorphes, un locus "rapide", très polymorphe, dont les nombreuses bandes sont de très faible intensité. Ce locus n'est pas utilisé pour les analyses.

-ADH, E.C. 1.1.1.1.: deux zones d'activité sous la dépendance de deux loci à deux allèles chacun sont observées sur les zymogrammes. Les enzymes migrent vers la cathode et présentent des bandes d'apparition tardive ; l'intensité de coloration de l'enzyme le plus lent (ADH-1), codé par *Adh-1*, est faible. Aux deux loci, les hétérozygotes se révèlent avec trois bandes bien séparées. L'existence d'hétérodimères inter-locus fait penser à un enzyme dimérique comportant un gène dupliqué. ADH-1 aurait subi une modification post-traductionnelle et/ou post-transcriptionnelle. Il ne se révèle pas dans les populations issues de *Cassia sicberiana*.

\* E.C. : numéro de la "Commission des Enzymes" (Enzyme Commission) du "Nomenclature Committee for the International Union of Biochemistry" (Pasteur *et al.*, 1987)



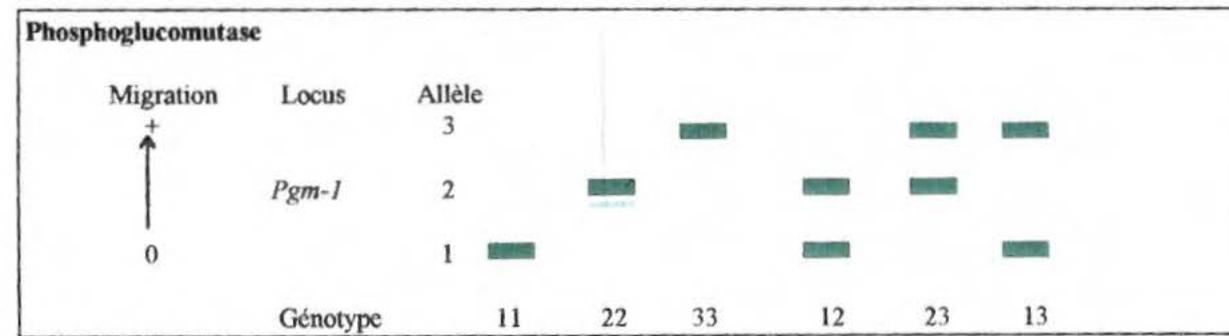
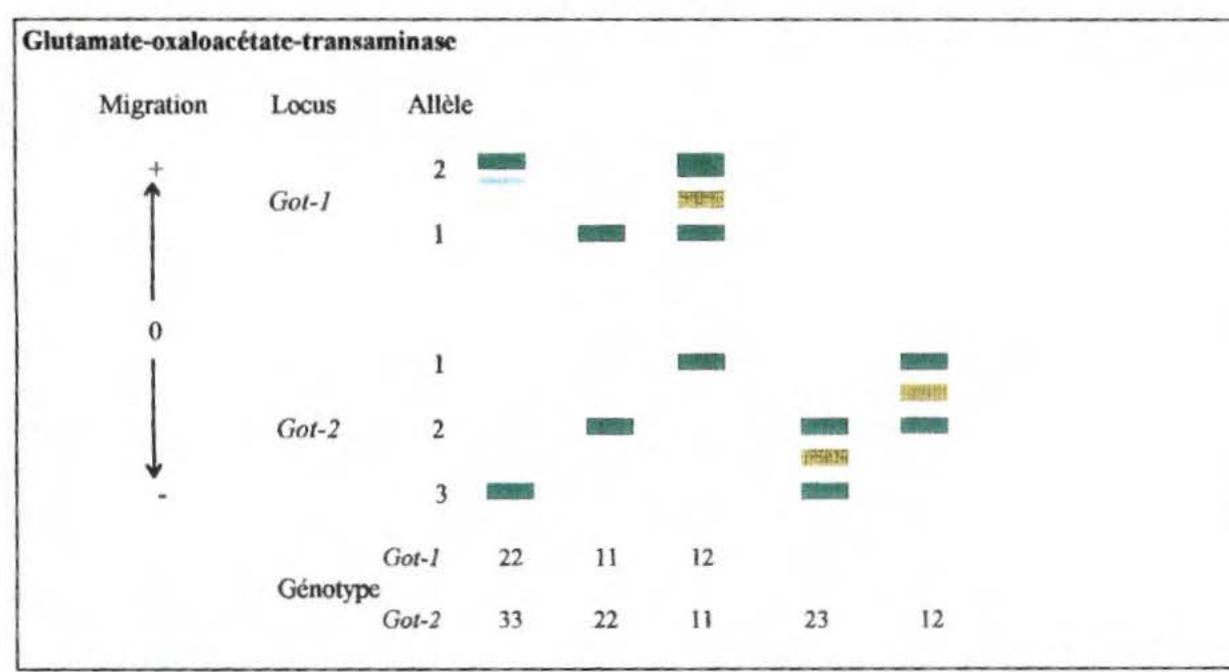
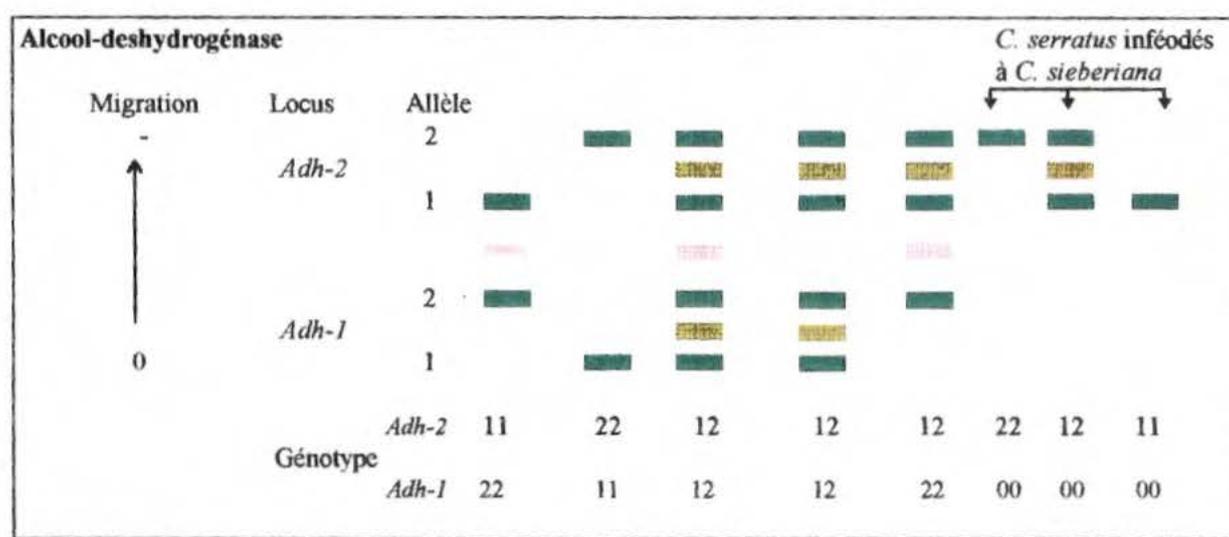
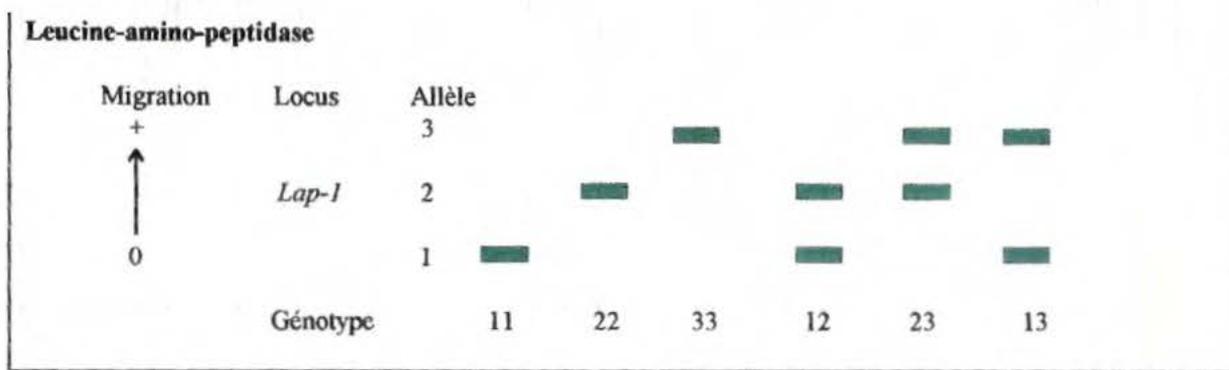
**Leucine-  
Amino-  
Peptidases**

**Alcool-  
DésHydrogénases**

**Glutamate-  
Oxaloacétate-  
Transaminases**

**Phospho-  
Gluco-  
Mutases**

Figure 21: Exemple de zymogrammes polymorphes: gels séchés et scannés.



■ Allèle   ■ Hétérodimère   ■ Hétérodimère inter-locus   ■ Bande de dégradation

Figure 22: Interprétation génétique des zymogrammes.

		Echantillons																									
Loci	Allèle	Fimela					Keur Baka					Ouarak				Thies				Bignona		Nioro		Deali	Sokone	Kaffrine	
		Ab	Bb	Cb	Pb	Ib	Akb	Bkb	Ckb	Pkb	Ikb	You	Bou	Pou	Tou	Ath	Bth	Cth	Pth	Ith	Abi	Tbi	Cr	Pu	Bde	Cso	Aka
<i>Got-1</i>	1	.000	.000	.000	.000	.000	.038	.000	.000	.038	.000	.050	.000	.050	.000	.063	.000	.000	.075	.000	.000	.000	.000	.038	.000	.025	.038
	2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.962	1.000	1.000	.962	1.000	.950	1.000	.950	1.000	.938	1.000	1.000	.925	1.000	.000	1.000	1.000	.962	1.000	.975	.962
<i>Got-2</i>	1	.000	.112	.075	.000	.000	.100	.138	.000	.100	.000	.100	.125	.138	.000	.100	.138	.000	.075	.000	.100	.000	.100	.087	.063	.125	.050
	2	1.000	.887	.925	1.000	1.000	.825	.863	1.000	.813	1.000	.825	.875	.788	1.000	.850	.863	1.000	.825	1.000	.825	1.000	.900	.788	.938	.875	.875
	3	.000	.000	.000	.000	.000	.075	.000	.000	.087	.000	.075	.000	.075	.000	.050	.000	.000	.100	.000	.075	.000	.000	.125	.060	.000	.075
<i>Lap-1</i>	1	.000	.125	.250	.000	.063	.275	.125	.225	.237	.075	.275	.138	.262	.162	.250	.188	.138	.200	.063	.150	.112	.250	.175	.162	.250	.250
	2	.800	.825	.750	.800	.863	.712	.813	.775	.750	.850	.700	.788	.700	.625	.725	.750	.863	.788	.863	.850	.738	.750	.813	.762	.750	.725
	3	.200	.050	.000	.200	.075	.013	.063	.000	.013	.075	.025	.075	.038	.213	.025	.063	.000	.013	.075	.000	.150	.000	.013	.075	.000	.025
<i>Adh-1</i>	1	.320	.138	.000	.000	.000	.000	.150	.000	.000	.000	.000	.138	.000	.013	.000	.225	.225	.000	.000	.025	.000	.000	.000	.237	.000	.000
	2	.680	.863	.000	1.000	1.000	1.000	.850	.000	1.000	1.000	1.000	.863	1.000	.988	1.000	.775	.775	1.000	1.000	.975	1.000	.000	1.000	.762	.000	1.000
<i>Adh-2</i>	1	.962	.938	.525	.962	1.000	.962	.913	.213	.950	1.000	.962	.938	.950	1.000	.950	.938	.237	.938	1.000	1.000	1.000	.250	.950	.925	.512	.950
	2	.038	.063	.475	.038	.000	.038	.087	.788	.050	.000	.038	.063	.050	.000	.050	.063	.763	.063	.000	.000	.000	.750	.050	.075	.488	.050
<i>Pgm-1</i>	1	.338	.150	.075	.338	.338	.262	.150	.075	.300	.325	.275	.150	.262	.363	.287	.112	.125	.425	.338	.475	.338	.063	.325	.200	.075	.262
	2	.563	.813	.925	.563	.663	.738	.800	.925	.700	.675	.725	.813	.738	.637	.712	.813	.875	.575	.663	.525	.663	.938	.675	.712	.925	.738
	3	.100	.038	.000	.100	.000	.000	.050	.000	.000	.000	.000	.038	.000	.000	.000	.075	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.087	.000	.000
A		1.7	2.2	1.7	1.7	1.5	2.2	1.5	2.2	2.2	1.5	2.2	2.2	2.2	1.7	2.2	2.2	1.8	2.2	1.5	1.8	1.5	1.7	2.2	2.2	1.8	2.2
P% (critère .95)		37.5	62.5	50.0	25.0	25.0	37.5	37.5	62.5	50.0	25.0	50.0	62.5	62.5	25.0	62.5	62.5	50.0	62.5	25.0	50.0	25.0	50.0	62.5	62.5	62.5	62.5
Ho		.092	.158	.183	.092	.092	.108	.113	.158	.100	.142	.129	.183	.133	.071	.125	.175	.142	.133	.092	.025	.179	.138	.117	.237	.196	.117
Hw		.159**	.195	.192	.161**	.116	.209**	.218	.137*	.215**	.117	.217**	.207	.229**	.171*	.216**	.237	.242*	.231**	.116	.184**	.145	.175	.212**	.242	.213	.199*

Tableau 4: Paramètres de la variabilité génétique de 26 échantillons de *C. serratus* portant sur 8 loci dont 6 polymorphes: fréquences alléliques, nombre moyen d'allèles par locus (A), pourcentage de loci polymorphes (P%), hétérozygoties moyenne observée (Ho) et attendue selon l'équilibre de Hardy-Weinberg (Hw). Les déviations par rapport aux valeurs attendues sont déterminées par le test de  $\chi^2$ . \*\*:  $p < 0,01$ , \*:  $0,01 < p < 0,05$

-GOT, E.C. 2.6.1.1 : les zymogrammes font apparaître deux loci migrant en sens opposé. GOT-1 migre vers l'anode et comporte deux allèles. L'allèle le plus "rapide", qui est aussi le plus fréquent, est constitué de deux électromorphes dont le plus lent est une bande de dégradation. GOT-2 migre vers la cathode. Il est codé par *Got-2* qui est constitué de trois allèles ; dans toutes les populations, les hétérozygotes apparaissent en taches de forme plus ou moins ovale. L'enzyme est dimérique.

-PGM, E.C. 5.4.2.2.: deux groupes d'électromorphes bien séparés sont visibles. Le plus rapide est de faible coloration et n'est pas toujours lisible. Il n'est pas exploité. L'enzyme le plus lent (PGM-1) présente des électromorphes d'apparition rapide. Il est codé par un locus monomérique à trois allèles. Le génotype homozygote pour l'allèle moyen présente deux électromorphes rapprochés dont le plus lent est de faible intensité. L'existence d'électromorphes doubles pour un allèle a déjà été signalée par Ouazzani *et al.* (1993) dans le cas de la phosphoglucomutase.

La figure 22 présente les profils électrophorétiques des zymogrammes polymorphes et leur interprétation génétique.

### III.1.3- Analyse génétique

Les paramètres de la variabilité génétique au sein des 26 échantillons de même que le test de déviation des échantillons par rapport à l'équilibre de Hardy-Weinberg à chaque locus, sont consignés dans le tableau 4.

Le nombre moyen d'allèles est de 1,8 pour l'ensemble des échantillons. Il varie de 1,5 (dans les échantillons issues de *T. indica*) à 2,2 (dans les échantillons obtenues de *B. rufescens*). La différence entre nombre moyen d'allèles à un locus donné est moins marquée entre populations géographiquement éloignées inféodées à une même espèce hôte qu'entre échantillons sympatriques de plantes hôtes différentes sauf entre les souches "*P. reticulatum*" et "arachide".

Le taux de polymorphisme (critère 95%) est compris entre 25,0% et 62,5%. D'une manière générale, il est plus faible dans la souche *T. indica* et est pratiquement identique pour les échantillons d'une même souche.

La proportion d'hétérozygotes à un locus donné pour un échantillon (hétérozygotie moyenne) est comprise entre 2,5% (Abi) et 23,7% (Bde). L'hétérozygotie attendue sous l'hypothèse de Hardy-Weinberg (diversité génétique) est comprise entre 11,6% (Tth et Tfi) et 24,2% (Bde).

**a**

Plantes hôtes						
Loci	intra- <i>A. hypogaea</i>	intra- <i>B. rufescens</i>	intra- <i>P. reticulatum</i>	intra- <i>T. indica</i>	entre hôtes <sup>▲</sup>	entre échantillons <sup>▲</sup>
<i>Got-1</i>	.005	—	-.018	—	.016	.018
<i>Got-2</i>	-.018	-.022	-.024	—	.035*	.031*
<i>Lap-1</i>	-.003	-.005	-.017	.012	.013	.057*
<i>Adh-1</i>	.111*	.006	—	.000	.122*	.142*
<i>Adh-2</i>	-.015	-.014	-.022	—	.017	.001
<i>Pgm-1</i>	.044*	-.002	-.015	-.015	.030*	.021*
Tous	<b>.013</b>	<b>-.008</b>	<b>-.017</b>	<b>.005</b>	<b>.029*</b>	<b>.032*</b>

**b**

Localités						
Loci	Fimela <sup>▲</sup>	Keur Baka <sup>▲</sup>	Ouarak <sup>▲</sup>	Thiès <sup>▲</sup>	entre localités	entre échantillons <sup>▲</sup>
<i>Got-1</i>	—	.003	.003	-.001	.002	.018
<i>Got-2</i>	.091*	.031*	.001	.003	.021	.031*
<i>Lap-1</i>	.015	.068*	.053*	.047*	-.008	.057*
<i>Adh-1</i>	.128*	.011	.018	.027*	.027*	.142*
<i>Adh-2</i>	.008	.007	.017	.002	.001	.001
<i>Pgm-1</i>	.036*	.041*	.061*	.049*	.018	.021*
Tous	<b>.038*</b>	<b>.029*</b>	<b>.031*</b>	<b>.030*</b>	<b>.003</b>	<b>.032*</b>

Tableau 5: Degrés de différenciation génétique au niveau des plantes hôtes (a) et de certaines localités (b). Les valeurs négatives sont un artéfact de la méthode d'estimation de  $\theta$  quand celui-ci est voisin de zéro. La différence des valeurs de  $\theta$  par rapport à 0 est testée par  $\chi^2 = 2N(\theta)(k-1)$  pour k allèles et s échantillons avec (k-1)(s-1) ddl. \*:  $p < 0,05$ .

▲: sans les échantillons de *C. sieberiana*

— valeur non déterminée

Chacun des échantillons de la souche "arachide" (particulièrement Abi) et ceux de "*P. reticulatum*" dévient fortement de l'équilibre ( $p < 0,001$ ). Certains échantillons de la souche "*C. sieberiana*" (Cfi et Ckb) sont en léger déséquilibre. Sur l'ensemble des loci, les fréquences génotypiques des populations "*B. rufescens*" et "*T. indica*" ne s'écartent pas des fréquences génotypiques attendues sous l'hypothèse nulle d'équilibre de Hardy-Weinberg ( $p > 0,05$ ). Tkb et Tbi présentent cependant un léger excès d'hétérozygotes avec respectivement un  $f$  multilocus de -0,242 et -0,194. En dehors de ces deux cas, ces déviations sont toujours dues à un important déficit en hétérozygotes ( $0,03 < f \text{ multilocus} < 0,86$ ). Pour l'ensemble des loci, les échantillons provenant d'une même localité sont en déséquilibre panmictique. La probabilité d'écart à la panmixie est hautement significative ( $\chi^2 = 622,5$  ; ddl = 32) pour l'ensemble des populations à tous les loci.

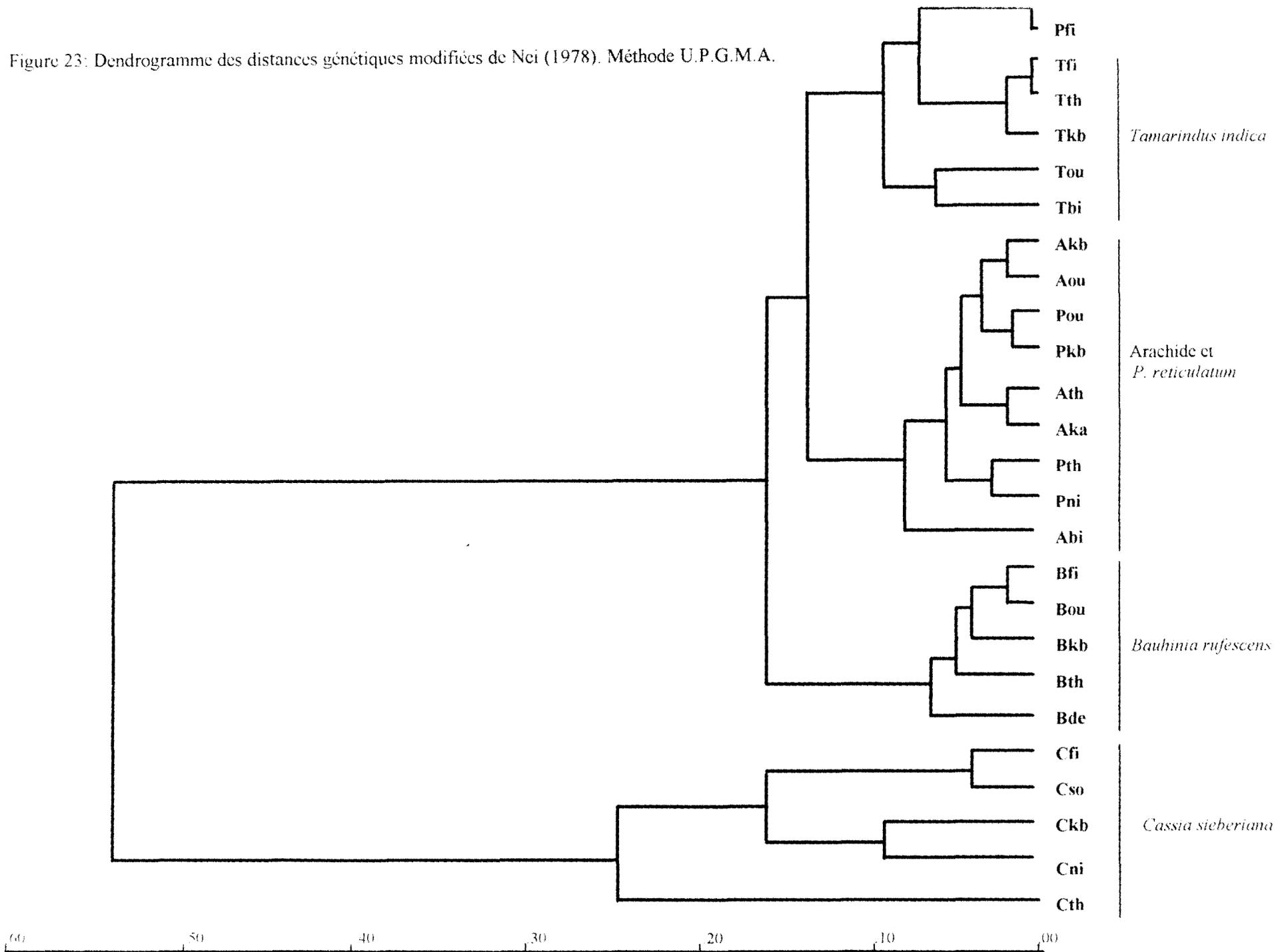
Aucun déséquilibre de liaison n'est mis en évidence ( $p < 0,001$ ): les génotypes des différents loci se distribuent indépendamment les uns des autres.

L'Analyse Factorielle des Correspondances (Annexe III) isole les échantillons en fonction de leur plante hôte. Les loci les plus discriminants sont *Adh1* et 2 et *Got1* et 2. L'allèle le plus "lent" de *Adh-1* (*Adh1-1*) et le plus "rapide" *Pgm1* (*Pgm1-3*) sont responsables de l'isolement des échantillons de *B. rufescens*, *Adh1* et *Adh2-2* regroupent les échantillons *C. sieberiana*, *Adh2-1* les échantillons *T. indica* ; *Got1-1* et *Got2-3* sont responsables du regroupement des échantillons de *P. reticulatum* et ceux de l'arachide. Afi et Pfi ne sont pas regroupés avec les autres échantillons de *P. reticulatum* et de l'arachide.

La valeur de  $\theta$  (0,279) des 26 échantillons révèle que 27,9% de la variabilité totale est due à une différenciation génétique entre échantillons. Le dendrogramme (Fig. 25) montre deux groupes distincts: un groupe formé des échantillons de la souche "*C. sieberiana*" et un autre composé du reste des échantillons. La distance génétique entre les deux groupes est de 0,55. La souche "*C. sieberiana*" se différencie très nettement des autres. Cette divergence élevée est due à la non révélation de l'ADH-1 chez les *C. serratus* inféodés à *C. sieberiana* (Fig. 22) et à une distribution allélique du locus *Adh-2* de ces bruches différente de celle au niveau des autres échantillons (Tab. 4).

En analysant la structuration génétique intra et inter-plantes hôtes (Tab. 5a) et intra et inter-localités (Tab. 5b) sans les bruches inféodées à *C. sieberiana*,  $\theta$  est réduit à 0,032. On constate que 88,5% de la variabilité génétique due à des accouplements préférentiels chez *C. serratus* sont perdus. La différenciation génétique intra-hôte (intra souche) n'est pas significative ( $p < 0,001$ ), ce qui montre que les *C. serratus* inféodés à une même plante hôte sont génétiquement très proches entre eux. L'*Adh1* différencie cependant les échantillons

Figure 23: Dendrogramme des distances génétiques modifiées de Nei (1978). Méthode U.P.G.M.A.



Afi et Pfi des autres provenant de l'arachide et de *P. reticulatum* bien que la divergence génétique à l'intérieur de ces souches soit statistiquement nulle. Par contre 90,6% de la divergence génétique totale ( $\theta = 0,032$ ) est due à une variance entre plantes hôtes ( $\theta$  inter-hôte = 0,029). La part de la variance génétique entre localités ( $\theta = 0,003$ ) dans la différenciation génétique des échantillons n'est pas significative. La divergence génétique à l'intérieur d'une localité ( $\theta = 0,027$ ) est par contre voisine de celle obtenue entre plantes hôtes.

Le flux génique est de 250 individus par génération entre les *C. serratus* inféodés à *P. reticulatum* et ceux infestant l'arachide nouvellement récoltée. Il est par contre faible entre les bruches inféodées aux hôtes sauvages *T. indica* et *B. rufescens* et l'arachide avec respectivement 11 et 6 migrants par génération. *Nm* est statistiquement nul entre les bruches issues de *C. sieberiana* et celles infestant l'arachide.

## III.2- DISCUSSION

### III.2.1- Variation allozymique

L'étude du polymorphisme enzymatique (au sens large) de *C. serratus* en rapport avec ses différentes plantes hôtes montre que la richesse allélique des bruches échantillonnées est relativement faible (2 à 3 par locus polymorphe) ; le nombre moyen d'allèles par locus est aussi très stable (1,5 à 2,2) et pratiquement identique à l'intérieur d'une même souche, suggérant l'existence de forces qui tendent à conserver la même variabilité allozymique chez les échantillons d'une même souche. Rappelons toutefois que l'électrophorèse ne permet pas de séparer tous les allèles d'un locus. De plus, le nombre d'allèles trouvés dans un échantillon dépend de la taille de ce dernier: plus il augmente, plus le nombre d'allèles pour le même locus est élevé, des allèles rares étant révélés.

La non révélation du locus *Adh-1* chez les échantillons obtenus de *C. sieberianus* pourrait s'expliquer par plusieurs hypothèses:

-Ces bruches seraient homozygotes pour un allèle nul comme c'est le cas de certaines drosophiles (Pasteur *et al.*, 1987). Mais, aucune bande "hybride" n'est révélée.

-L'*Adh-2* ne se serait pas dupliqué chez les *C. serratus* issus de *C. sieberiana* ; ou encore ces individus auraient perdu le locus "lent" de l'*Adh* après duplication. Il existe cependant des *C. serratus* obtenus du *C. sieberiana* provenant de Thiès et qui révèlent des

allèles de l'*Adh-1*. L'existence de l'*Adh-1* chez ces bruches pourrait s'expliquer par le fait qu'à Thiès, le lieu d'échantillonnage (ENSA) est cloturé, assez hermétique, pouvant ainsi favoriser la contamination des gousses de *C. sieberiana* par des *C. serratus* inféodés aux autres plantes. En analysant les fréquences alléliques, on peut penser que des *C. serratus* inféodés au *B. rufescens* de la même localité ont pondu sur les gousses de *C. sieberiana* échantillonnées. De même, une contamination au laboratoire des gousses de *C. sieberiana* par des bruches issues de *B. rufescens* n'est pas à écarter puisque ces gousses sont restées plus de 3 mois sans qu'aucune émergence d'adultes de *C. serratus* ne soit notée.

-Par contre, l'hypothèse de gènes dont l'expression serait limitée à un sexe ne peut pas être retenue puisque des individus mâles et femelles sont à chaque fois analysés. Enfin, l'idée d'une superposition de ADH-1 et ADH-2 est à écarter car l'intensité de coloration de ADH-2 est la même chez tous les échantillons analysés. Dans tous les cas, cela témoigne d'une forte différenciation génétique entre les *C. serratus* inféodés à *C. sieberiana* et les autres.

### III.2.2- Variabilité génétique

Le taux de polymorphisme de *C. serratus* (44,8%) est du même ordre de grandeur que ceux rencontrés chez d'autres insectes: 56% chez *Phlebotomus papatasi* (Kassem *et al.* 1993), 53,6% chez *Hypera postica* (Hsiao & Stutz, 1985), 37,7% chez *Dacus cucurbitae* (Yong, 1992), 35% chez *Yponomeuta* spp. (Menken, 1982).

La comparaison du taux de polymorphisme entre espèces étudiées n'est cependant pas facile car son estimation dépend non seulement du critère utilisé mais aussi des systèmes enzymatiques révélés.

Chez *C. serratus*, ce taux calculé (critère 95%) semble se conserver, même dans les élevages. En effet Cfi (  $p = 50,0\%$ ) et Bou (  $p = 62,5\%$ ) ont été élevés au laboratoire pendant une génération à partir d'un nombre réduit de femelles ; leur taux de polymorphisme enzymatique est cependant soit du même ordre de grandeur soit plus élevé que ceux de la plupart des autres populations. Or, on pouvait s'attendre chez ces insectes à une variabilité génétique faible qui s'expliquerait par un effet fondateur (Hartl, 1994).

L'hétérozygotie moyenne attendue sous l'hypothèse Hardy-Weinberg (18,2%) reflète la variabilité génétique élevée de *C. serratus*, d'autant que de faibles degrés d'hétérozygotie semblent être un caractère habituel chez les insectes: 7,4% chez 23 espèces d'insectes (Nevo, 1978), 8,3% chez *Yponomeuta* spp. (Menken, 1982), 11,6 % chez *P. papatasi*, 13,7% chez 170 espèces d'insectes (Ward *et al.*, 1992). Par contre Hw chez la bruche de l'arachide est soit du même ordre de grandeur soit inférieure à celle d'autres

insectes appartenant à la même superfamille de Coléoptères (Phytophagoidea). Hw est de 0,160 chez *Coccinella 7-punctata* (Krafsur *et al.*, 1992), de 0,206 chez *Leptinotarsa decemlineata* (Jacobson & Hsiao, 1983), de 0,231 chez *Hypera postica* (Hsiao & Stutz, 1985), et de 0,236 chez *Anthonomus grandis* (Terranova, 1981).

Ces différences s'expliqueraient d'une part par le fait que la plupart des espèces citées diffèrent de *C. serratus* aussi bien par la variabilité des supports de développement (cinq plantes hôtes au Sénégal) que par le mode de reproduction ou la capacité de dispersion ; d'autre part, les systèmes enzymatiques révélés sont rarement les mêmes dans les différentes études.

Hormis Tkb et Tbi, tous les échantillons présentent un déficit d'hétérozygotes plus ou moins significatif par rapport aux taux attendus selon l'équilibre de Hardy-Weinberg, suggérant ainsi chez ces échantillons une reproduction préférentiellement homogamique ou bien une certaine consanguinité.

Abi a une hétérozygotie particulièrement faible (0,025) qui s'explique par le fait que cet échantillon est obtenu d'un stock d'arachide, milieu assez fermé favorisant la consanguinité. Tout dépend alors des géniteurs ; dans ce cas précis, l'infestation primaire des stocks serait due à des bruches majoritairement homozygotes aux loci codant pour les enzymes révélées. Seul, Tkb présente un déficit d'homozygotes faisant penser à un ensemble génétique ouvert où les femelles préféreraient les mâles hétérozygotes.

Malgré ce déficit important en hétérozygotes chez les échantillons analysés, une déviation très significative par rapport à l'équilibre panmictique n'est observée que chez "arachide" et "*P. reticulatum*". Ce qui les distingue des autres populations qui sont toutes en équilibre malgré l'excès d'homozygotes.

Sur *Piliostigma*, la dynamique des populations de *C. serratus* paraît dominée par l'alternance d'une période assez courte (de novembre à février) où les gousses mûres des plantes hôtes sont abondantes dans la nature et d'une longue période (mars à octobre) où celles-ci deviennent beaucoup plus rares, puis apparemment absentes. Lorsque les premières gousses atteignent la maturité, en novembre, les populations de *C. serratus* sont généralement très faibles et les infestations sont le fait d'un nombre réduit de femelles. Les taux d'infestation relevés sur *P. reticulatum* en novembre sont d'environ 2 à 4 oeufs pour 1000 gousses. "*P. reticulatum*" consisterait donc en un mélange des F1 d'un nombre limité de fondatrices.

Sur arachide nouvellement récoltée, les taux d'infestation initiaux sont de l'ordre de 1 oeuf pour 10.000 graines (Matokot *et al.*, 1987 ; observations personnelles). Ceci explique en partie pourquoi les échantillons d'arachide dévient de l'équilibre panmictique.

*Bauhinia rufescens*, au contraire, fructifie toute l'année. Les taux d'infestation ne présentent pas de fluctuations de même ampleur que celles observées sur *Piliostigma*. Cette persistance des gousses de *Bauhinia rufescens* durant toute l'année est une situation favorable à la panmixie.

*Tamarindus indica* est dans une situation intermédiaire. Le tamarinier présente en effet une période de fructification maximale en mars-avril. Cependant, compte tenu d'une forte variabilité inter-arbres, il est possible de trouver dans une région donnée quelques gousses mûres tout au long de l'année (Ndiaye, 1991). De plus, les graines du tamarinier sont un résidu habituel de la préparation de certains aliments au Sénégal. Elles peuvent constituer un habitat de développement favorable au maintien de la bruche de l'arachide jusqu'à la maturation des nouvelles gousses.

La souche "*C. sieberiana*" est constituée d'échantillons récoltés après plusieurs générations dans la nature. Ceci diminue l'effet fondateur artificiel et favorise la panmixie.

D'autre part, en considérant l'ensemble des échantillons, le test de  $\chi^2$  révèle, pour l'ensemble des loci, une importante déviation par rapport à l'équilibre de Hardy-Weinberg. Ces populations ne semblent donc pas constituer un "ensemble génétique uniforme" ; les croisements entre elles ne se feraient pas au hasard (effet Wahlund). Ainsi tout laisse à penser qu'elles sont génétiquement bien différenciées.

### III.2.3- Structuration génétique

La valeur de  $\theta = 0,279$  révèle qu'environ 27,9% de la variabilité génétique de *C. serratus* est due à une différenciation inter-échantillon. Celle-ci est du même ordre de grandeur que des valeurs de *F<sub>st</sub>* d'autres Coléoptères. Chez *Tetraopes tetraophthalmus* (populations Nord américaines), *F<sub>st</sub>* = 0,154 (Mc Cauley & Eanes, 1987), chez *Oreina cacaliae*, insecte à très faible capacité de dispersion et spécialiste d'une plante à répartition morcelée, *F<sub>st</sub>* = 0,234 (Rowell-Rahier, 1992) ; un *F<sub>st</sub>* de 0,290 est obtenu chez des colonies eurasiennes de *Coccinella septempunctata* (Krafsur *et al.*, 1992) ; ces valeurs sont interprétées comme caractéristiques d'une forte différenciation génétique.

Dans notre cas, 88,5 % de la différenciation génétique totale est due à "*C. sieberiana*". Il est évident qu'il existe une forte différenciation génétique entre les *C. serratus* inféodés à *C. sieberiana* et ceux inféodés aux quatre autres plantes hôtes. La valeur de la distance génétique de Nei entre les deux groupes (0,55) excède les distances génétiques typiques entre sous-espèces chez les invertébrés (Klein & Seitz, 1994 ; Emelianov *et al.*, 1995). L'isolement génétique des bruches inféodées à *C. sieberiana* pourrait être du :

- A un début de spéciation sympatrique due seulement à l'*Adh* qui pourrait s'accroître par une reproduction préférentiellement homogamique. Les autres loci étudiés ne sont pas affectés puisque leur distribution allélique ne permet pas de différencier les *C. serratus* issus de *C. sieberiana* des autres. Ils peuvent cependant ne pas constituer un échantillon représentatif du génome de *C. serratus*.

- A l'existence chez *C. sieberiana* d'une espèce jumelle de *C. serratus*. Les adultes appartenant à cette espèce ne présentent aucune différence anatomique décelable avec ceux provenant de l'arachide, de *B. rufescens*, de *Piliostigma* ou de *T. indica*. La comparaison morphologique à tous les stades de développement et l'étude des capacités d'hybridation des deux "souches" sont donc nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

Hormis l'isolement génétique important des bruches inféodées à *C. sieberiana*, la structuration génétique de *C. serratus* paraît liée au fait que cette bruche se développe sur plusieurs plantes hôtes différant aussi bien par la forme de leurs gousses et graines que par la nature chimique de leurs substances secondaires. En effet, la différenciation intra-hôte est inexistante alors que 90,6% de la divergence génétique totale (sans les échantillons de *C. sieberiana*) sont dus à une différenciation entre espèces hôtes. La part de la différenciation génétique entre localités est quasiment nulle ( $\theta = 0,003$ ). Les flux géniques entre plantes hôtes identiques semblent se faire de manière homogène à l'intérieur du Sénégal en l'absence de barrière géographique ou climatique.

Il existe plusieurs biotypes de *C. serratus* au Sénégal, chacun d'eux étant inféodé à une plante ou un groupe de plantes hôtes et l'isolement entre eux n'est que partiel. Or, il n'y a que de rares exemples d'apparition, au sein de populations sympatriques, d'un isolement lié à la nature de la plante hôte (Mitter & Futuyma, 1979). Les conditions d'une telle spéciation seraient peu probables selon Futuyma & Mayer (1980): Selon Bush & Diehl, (1982), les accouplements devraient se faire de préférence avec des partenaires provenant de la même plante hôte. Ces hypothèses de Futuyma et Mayer sont combattues par de nombreux auteurs: il y a au moins autant de variabilité génétique liée au choix de l'hôte chez des populations sympatriques qu'entre populations allopatriques nettement isolées. De plus, l'accouplement entre partenaires consanguins est favorisé dans le cas de la bruche de l'arachide par "effet de proximité": l'indéhiscence de la plupart des gousses des plantes hôtes de *C. serratus*, empêche la dispersion des graines de chacune d'elle; une souche peut alors maintenir ses cycles de développement sur les gousses accrochées ou sur celles tombées sous la canopée d'un arbre donné. Les larves de quatrième stade tombent généralement au sol pour la nymphose. Les adultes qui émergent des cocons, sur cette même surface réduite n'ont certainement pas besoin de migrer loin pour trouver un partenaire. Ceci favorise les accouplements entre partenaires consanguins et le dépôt des oeufs par la femelle sur l'espèce

dont elle est issue. Robert (1984) et Ali-Diallo (1991) pensent que le choix du site de ponte est dû, plutôt qu'à une application du principe de Hopkins, à un conditionnement de l'adulte au moment de son émergence, à la suite du contact avec les parois externes du cocon ou encore avec la plante hôte. Nos résultats montrent que cette préférence est sous contrôle génétique. Ils apportent, comme ceux de Bush & Diehl (1982) et de Emelianov *et al.* (1995), un nouvel argument en faveur de l'isolement de populations sympatriques.

Ce mécanisme d'isolement résulte de l'existence chez *C. serratus* d'une forte variabilité individuelle dans la sélection du site de ponte (Robert, 1985 ; Ali-Diallo, 1991, Delobel, 1995). En plus de ses plantes hôtes habituelles, Ndioulou (1983) a constaté que *C. serratus* pondait sur toutes les gousses qui lui étaient proposées mais quatre Caesalpiniaceae (*Bauhinia variegata*, *B. purpurea*, *Delonix regia* et *Dialium pachyphyllum*) et deux Fabaceae (*Milletia laurentii* et *M. eetveldeana*) se révélèrent totalement toxiques pour les larves. Par contre, *C. serratus* effectua son cycle complet sur *Cassia javanica* (Caesalpiniaceae). Cette espèce introduite au Congo, n'y semble pas actuellement attaquée par ce Bruchidae. D'autre part Cancela da Fonseca (1963) a réalisé des élevages de *C. serratus* sur *Cassia fistula* ; Delobel *et al.* (1995) ont observé des oeufs et des larves mortes au premier stade de *C. serratus* sur *Prosopis africana* et *Detarium senegalensis*. Notons simplement que le fait qu'un insecte se développe au laboratoire sur une espèce végétale donnée ne signifie pas forcément qu'il pourrait boucler son cycle sur cette même espèce dans la nature. Très souvent les souches utilisées dans les expériences sont élevées après de nombreuses générations au laboratoire. Il est cependant clair que *C. serratus* possède une grande plasticité de ponte qui lui a permis de s'adapter à différents hôtes appartenant à des Caesalpiniaceae, des Fabaceae et peut être même des Mimosaceae (Delobel *et al.* 1995).

Bush & Diehl (1982) pensent que ce phénomène d'allotropie (l'attaque d'un nouvel hôte par un insecte parasite) peut ou non nécessiter au préalable des modifications génétiques majeures chez les individus produisant l'infestation. Ces modifications concernent les gènes contrôlant le comportement alimentaire ou la physiologie digestive de la larve, soit les deux. Dans le cas de *C. serratus*, l'existence de biotypes fait penser que son passage sur chacune de ses plantes hôtes a nécessité de telles modifications ; les gènes qui isolent les biotypes de la bruche de l'arachide ne sont pas liés (déséquilibre de liaison) et contrôlent tous des enzymes appartenant aux grands groupes des oxydo-réductases (ADH), des peptidases (LAP), des transaminases (GOT) et des transférases (PGM), groupes qui interviennent d'une manière ou d'une autre dans la physiologie digestive chez les animaux.

Il est aussi intéressant de noter que les graines dans lesquelles les larves de *C. serratus* parviennent à se développer, exceptée l'arachide, appartiennent toutes à la famille des Caesalpiniaceae. Robert (1984) pense que ces graines contiennent un même type de substances toxiques, que les larves de la bruche de l'arachide ont été capables de détoxifier. Ceci est contraire à l'idée de l'existence de biotypes chez *C. serratus* à l'intérieur des Caesalpiniaceae. Les critères taxonomiques des légumineuses ne sont pas basés sur les caractéristiques biochimiques des substances nutritionnelles des espèces qui composent cette super-famille. Une hypothèse plus plausible serait que la bruche possède des gènes ou allèles contrôlant la détoxification des substances nocives pour s'adapter à chacune de ses plantes hôtes. La population de *C. serratus* posséderait un système enzymatique détoxificateur large car pour qu'une espèce puisse élargir sa gamme d'hôtes, il n'est pas suffisant que les femelles viennent pondre dessus ; il faut aussi que le substrat soit appétant et que les larves puissent détoxifier les substances nocives. Dans le cas de l'arachide, il est aussi possible que cette légumineuse ne contienne pas de substances toxiques naturelles. Les moyens habituels de défense chimique chez les légumineuses à gousses aériennes ne semblent pas nécessaires pour l'arachide qui présente un moyen de défense mécanique (fructification hypogée). Il est donc peu probable qu'il ait existé des pressions de sélection l'amenant à produire aussi des substances secondaires toxiques. A l'appui de ces hypothèses, Robert (1984) constate que contrairement à la plupart des légumineuses alimentaires, l'arachide crue n'est pas toxique pour l'homme. Il note cependant que la physiologie digestive de la bruche de l'arachide est certainement très différente de celle de l'homme. Au vu de ces arguments, il serait intéressant de tester les possibilités de développement sur graines d'arachide des larves d'autres bruchidae en particulier d'espèces du même genre. D'autres facteurs que ceux purement métaboliques, en particulier les caractéristiques physico-chimiques de la graine, seraient à prendre en considération.

Les flux géniques sont très importants entre l'arachide et *P. reticulatum* (250 individus par génération). On peut, à ce stade de l'étude, affirmer que l'infestation primaire de l'arachide nouvellement récoltée, est due à un nombre faible de femelles de *C. serratus* dont le développement s'est maintenu sur les gousses résiduelles de *P. reticulatum* pendant la saison hivernale (de juillet à octobre). L'importance des *Piliostigmas* (*Nguiguiss* en Woloff) dans l'infestation de l'arachide a été avancée dans des études antérieures comme celles de Matokot *et al.* (1987) au Congo & Gagnepain *et al.* (1986) en savane de Lamto en Côte-d'Ivoire. Au Sénégal, il semble clair que ce sont les *C. serratus* inféodées à *Piliostigma* qui ont été à l'origine de l'infestation de l'arachide au début du siècle, par allotrophie. Cette population s'est, sans doute, étendue en tache d'huile pour infester les récoltes d'arachide dans une grande partie de l'Afrique occidentale.

C'est dans une monographie publiée en 1958 que Davey a signalé les premières attaques d'arachide par *C. serratus*, au Sénégal. Cette zone fut, jusqu'au début des années 1970, lorsque furent signalés pour la première fois des dégâts en Afrique centrale (Delobel, 1989 b), la seule région du monde où *C. serratus* infestait les stocks d'arachide. Il est cependant difficile de préciser la date d'apparition de la bruche dans les stocks sénégalais car, si l'on peut dater l'apparition de la bruche dans les stocks destinées à l'exportation aux alentours de 1910, ceci ne signifie pas que le passage des populations de *C. serratus* date précisément de cette époque. En fait celui-ci n'est peut être devenu effectif qu'après de multiples tentatives avortées qui ont pu se produire pendant plusieurs siècles. En revanche, il est clair que la généralisation de l'infestation à toute l'Afrique occidentale s'est effectuée en 15 ou 20 ans. Le mode progression de cette infestation a été décrit par Delobel & Matokot (1991). Il est cependant apparu de nouveaux centres d'infestation de l'arachide (Afrique Centrale, Inde...) éloignés du foyer originel (Sénégal), mais l'hypothèse d'importations accidentelles d'arachide bruchée du Sénégal ne peut être écartée.

On peut affirmer, au terme de cette discussion, que contrairement aux hypothèses avancées par Ndiaye (1991) et Pierre & Huignard (1990), *Tamarindus indica* et *B. rufescens* ne jouent qu'un rôle secondaire dans l'infestation de l'arachide séchée au champ avec un nombre de migrants de 6 à 11 individus par génération seulement. Cependant, en l'absence de *P. reticulatum* dans une zone, les *C. serratus* infestant l'arachide pourraient éventuellement se réfugier et maintenir leur cycle de développement dans les gousses de *T. indica*.

**CONCLUSION GENERALE  
ET RECOMMANDATIONS**

Cette étude, qui a porté sur la dynamique de contamination de l'arachide, l'écologie de *Caryedon serratus* et les relations que cette bruche noue avec ses différentes plantes hôtes, ne nous permet, évidemment pas, de répondre à toutes les questions que nous nous posons. Elle a cependant permis de mettre en évidence plusieurs points importants de la biologie et de l'écologie de ce ravageur.

*Caryedon serratus* est un insecte ayant une grande plasticité de ponte. Au Sénégal, il se développe sur des légumineuses arborescentes relativement communes dans la région du bassin arachidier: *Bauhinia rufescens*, *B. monandra*, *B. tomentosa*, *Cassia sieberiana*, *Piliostigma reticulatum*, *P. thomningii* et *Tamarindus indica*. Il pond sur *Prosopis africana* et *Detarium senegalensis* mais ses larves ne parviennent pas à se développer sur ces Légumineuses. Elles meurent généralement au premier stade.

C'est une bruche qui s'est secondairement adaptée à l'arachide (*Arachis hypogaea*, Fabaceae) devenant ainsi l'unique espèce du genre *Caryedon* contaminant cette légumineuse. Il semble que les principaux facteurs influençant l'évolution des populations de cette bruche soient climatiques et biocénologiques mais n'empêchent pas sa persistance dans la nature durant la saison des pluies.

L'étude de la dynamique d'infestation de l'arachide nous a permis de préciser qu'il subsiste toujours, durant la période hivernale, une faible population de *C. serratus*, reproductivement active, qui infeste l'arachide nouvellement récoltée. La contamination peut aussi avoir pour origine le grenier lui-même ou les greniers voisins mal nettoyés. Cette infestation, quoique faible durant les deux premiers mois (environ 0,2% des gousses), se poursuit et est à l'origine d'importantes pertes quantitatives à cause du caractère polyvoltin de la bruche de l'arachide. Cependant, le stockage en sacs en polypropylène tressé limite l'infestation *in situ* par confinement des insectes.

La prospection effectuée aux abords de la limite nord de l'aire de distribution des plantes hôtes naturelles de *C. serratus*, révèle qu'il existe une corrélation positive entre la présence des plantes hôtes sauvages et le niveau d'infestation de l'arachide (perte en poids). Dans les zones où les plantes hôtes sont quasiment absentes (Nord du Sénégal), l'infestation de l'arachide par *C. serratus* est pratiquement nulle. Les premières attaques ne sont observées que sur de l'arachide stockée pendant au moins 7 mois. Ces infestations ont certainement pour origine de l'arachide bruchée venant des autres régions du Sénégal.

Les analyses morphométrique et génétique des différentes souches de bruches montre que la population de *C. serratus* forme des biotypes liés à chacune des espèces de

plante hôte (*host-races*) aussi bien sur le plan morphologique que génétique. Il existe un flux génique très élevé entre les *C. serratus* issus de l'arachide et ceux provenant de *Piliostigma reticulatum*. Ils se distinguent des souches inféodées aux autres plantes hôtes. Dans la zone d'étude, l'infestation primaire de l'arachide nouvellement récoltée est due précisément à des femelles de *C. serratus* issues des gousses de *P. reticulatum*. *T. indica* pourrait éventuellement, être un hôte refuge des *C. serratus* qui infestent l'arachide, en cas d'inexistence de gousses de *P. reticulatum*.

*C. serratus* est donc un insecte "à surveiller" qui pourrait passer sur d'autres légumineuses utiles à l'homme. D'autre part, il ne doit plus être considéré comme un insecte se développant uniquement dans les stocks. Le problème de la conservation de l'arachide doit être revu en tenant compte de la pré-infestation au champ car le polyvoltinisme de la bruche de l'arachide amplifie considérablement les dégâts en stocks dès lors qu'une primo-infestation s'est déjà installée. Il convient d'éviter l'infestation initiale, celle qui a pour origine *P. reticulatum* et qui se produit au cours du séchage. Pour y parvenir, trois possibilités:

- Soit procéder au séchage au village, dans la mesure où il n'y pousse pas de piliostigmas ;

- Soit, et c'est la solution qui paraît la plus pratique, éliminer les gousses de l'hôte sauvage avant leur maturité en les cueillant pour le bétail ou en les brûlant. Ceci ne nuit nullement au monde paysan car l'intérêt de *P. reticulatum* réside dans son écorce qui est utilisée pour attacher les fagots de bois ou les clôtures de maisons.

- Soit raccourcir la période de séchage le plus possible, en évitant une exposition trop longue en plein champ.

Il est aussi essentiel que les bruches infestant la récolte de la saison précédente ne puissent pas passer sur la nouvelle récolte. Des règles élémentaires d'hygiène suffiraient à éviter cette infestation : se débarrasser des stocks infestés au moins deux mois avant la rentrée de la nouvelle arachide ; en effet, des femelles pourraient subsister pendant tout ce temps dans un recoin du grenier ; nettoyer avec soin les lieux de stockage ; prendre garde en particulier aux sacs ayant contenu de l'arachide, qui peuvent abriter des cocons et des adultes ; mettre les gousses d'arachide, dès après le battage, dans des sacs en polypropylène tressé, non troués, en les remplissant pleinement et en les fermant hermétiquement.

Par ailleurs, il serait préférable que les achats d'arachide par les services de l'Etat soient achevés avant les deux mois qui suivent la récolte. Les sacs bruchés devront évidemment être isolés et traités à l'aide d'un insecticide dès leur arrivée sur les lieux de stockage.

D'une manière générale, pour ce qui concerne les magasins de l'Etat, quelques mesures relativement simples devraient être prises :

-Isoler dès leur arrivée les sacs contenant de l'arachide provenant des régions infestées; les détruire en cas de forte infestation. Traiter tous les autres sacs au moyen d'applications insecticides adéquates.

-Nettoyer très soigneusement les hangars après chaque saison, badigeonner murs et charpentes à l'aide d'insecticide.

-Ne pas réutiliser les sacs sans les avoir débarrassés des insectes qui peuvent s'y trouver. Conserver les sacs vides et propres loin des stocks d'arachide.

-Constituer de gros stocks, ceux-ci étant proportionnellement moins attaqués que les petits en raison de l'élévation de température à l'intérieur de la masse.

-Ne pas avoir, de préférence, de seccos intermédiaires entre le lieu de récolte et le secco final. Comme les attaques se localisent surtout en périphérie, chaque fois que l'on déplace le tas d'arachide, on bouleverse sa structure, ce qui homogénéise l'infestation. De plus, on provoque une baisse de la température, qui favorise la multiplication des insectes.

En plus de ces mesures immédiatement applicables, certaines autres voies sont en cours d'exploitation : elles ne peuvent encore donner lieu à des recommandations car elles font l'objet de recherches dans notre laboratoire. Nous citerons l'utilisation de substances d'origine végétale dont nous espérons obtenir un effet répulsif et/ou insecticide. Nous envisageons également le recours au stockage étanche en poches plastique hermétiquement fermées, avec ou sans appauvrissement de l'atmosphère en oxygène. Un troisième volet de recherche est celui de la lutte biologique par entomophages, c'est-à-dire au moyen d'insectes ou d'acariens auxiliaires, parasites ou prédateurs de la bruche. De même, les possibilités offertes par les caractères de résistance de certaines variétés d'arachide aux insectes ont déjà été évoqués. Notre étude n'a pu être étendue sur ce point qui devrait être vérifié par des expérimentations particulières.

Il est aussi nécessaire d'estimer les capacités migratoires de la bruche de l'arachide par des techniques de capture-marquage-lâcher-recapture ou par l'utilisation de phéromone sexuelle dont l'existence est d'ailleurs déjà signalée (Chaibou *et al.*, 1993). Ceci permettra sans doute de connaître quelle distance une femelle pourrait couvrir pour venir infester un stock ou de l'arachide en séchage au champ.

Pour mettre en évidence les mécanismes de résistance biochimique des autres Fabaceae aux différentes souches de *C. serratus* et les mécanismes de résistance des souches de *C. serratus* à leurs plantes hôtes (Delobel *in litt.*), il est nécessaire de déterminer l'ensemble des substances nutritionnelles et/ou volatiles pouvant intervenir dans l'attractivité des plantes envers les femelles gravides, l'effet des fruits sur la survie de la larve néonate (rôle de la gousse et de l'enveloppe de la graine) et enfin l'adéquation ou la toxicité de la graine aux besoins nutritionnels de la larve. La mise en évidence de ces mécanismes peut sûrement fournir de nouveaux moyens pour la mise en oeuvre de méthodes de lutte contre la bruche de l'arachide. Il est difficile de prévoir a priori la nature des sites d'intervention ; on peut penser néanmoins à des molécules antagonistes pouvant être intégrées, par génie génétique ou par sélection traditionnelle, aux cultivars d'arachide existant au Sénégal.

Insistons une fois de plus sur le fait que les progrès accomplis dans la recherche de méthodes de lutte contre la bruche de l'arachide doivent s'appuyer sur une étude détaillée de la biologie du ravageur. Et ce qui est vrai pour la bruche de l'arachide l'est également pour l'ensemble des ravageurs des denrées agricoles. Cependant, beaucoup reste à faire, d'une part pour mettre à l'épreuve les méthodes que nous préconisons, c'est-à-dire pour faire la preuve qu'elles sont efficaces et applicables sur le terrain ; d'autre part, pour découvrir et mettre en pratique de nouvelles méthodes de lutte. Il s'agira enfin de faire passer le message chez tous les opérateurs économiques ; c'est là un important travail de formation et de vulgarisation sans lequel les résultats de laboratoire resteraient sans grand intérêt.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- Adams, J.M., 1977. Post-harvest losses in cereals and pulses. The results of a question survey. *Trop. Stored Prod. Inf.*, 34: 23-48.
- Ali-Diallo, B., 1991. *Biologie de Caryedon serratus (Ol.) en présence de ses plantes hôtes sur le terrain et en conditions expérimentales*. Thèse Université de Niamey, Tome 1, 103 pp.
- Ali-Diallo, B. & D. Pierre, 1990. Importance des plantes sauvages sur la contamination des stocks d'arachide (*Arachis hypogaea*) par *Caryedon serratus* (Ol.) (Coleoptera: Bruchidae). *Séminaire sur la post-récolte en Afrique*. Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Alzouma, I., Huignard, J. & B. Leroi, 1985. La ponte de *Bruchidius atrolineatus* Pic. (Col., Bruchidae) au cours de la maturation de *Vigna unguiculata* Walp. et ses conséquences sur le développement. *Ann. Soc. entomol. Fr.*, 21: 207-217.
- Anonyme, 1982. Caractéristiques des variétés d'arachide actuellement recommandées au Sénégal. *Doc. romeo C.N.R.A. Bambey* (I.S.R.A., Sénégal), 12 pp.
- Anonyme, 1987. *Analysis of an F.A.O. survey of Postharvest Crop Losses in Developing Countries* (AGPP: MISC/270, F.A.O., Rome).
- Appert, J., 1954. La bruche de l'arachide. *Ann. C. R.A. Bambey*, 13: 181-190.
- Appert, J., 1957. *Les parasites animaux des plantes cultivées au Sénégal et au Soudan*. Gou. Gén. A.O.F., 272 pp.
- Appert, J., 1958. Protection de l'arachide au Sénégal contre les insectes nuisibles. *Publ. Sci. Comm. Afr. S. Sahara*, 31: 173-176
- Appert, J., 1985. *Stockage des produits vivriers et semenciers*. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris, Tech. d'agron. Trop., 113 pp.
- Arnaud, P.M. & C.C. Emig, 1986. La population unité fonctionnelle de la biocénose. *Actes du colloque " Biologie des populations"*, Lyon 4-6 septembre, 69-72.
- Ayala, F.J., 1972. Darwinian versus non-Darwinian evolution in natural populations of *Drosophila*. *Proc. Sixth Berkeley Symp. Math. Stat. Prob.*, 5: 211-236.

- Balachowsky, A.S., 1962. *Entomologie appliquée à l'agriculture*. Tome I, 441-485.
- Berhaut, R.P., 1967. *Flore illustrée du Sénégal*, 2<sup>ème</sup> édition, Clairafrique, 485 pp.
- Biernaux, J., 1965. Quelques mises au point en matière de biologie des Iules de la betterave. Considérations actuelles sur certains iulicides. *Communication n°1 du centre de Recherches zoologiques appliquées*, Gembloux (Belgique).
- Boucher, L. & J. Huignard, 1987. Transfer of male secretions from the spermatophore to the female insect in *Caryedon serratus* (Ol.): analysis of the possible trophic role of these secretions. *J. Insect Physiol.*, 33: 949-957
- Boucher, L. & D. Pierre, 1988. Etude du rythme d'accouplement chez *Caryedon serratus* en condition d'élevage et en conditions naturelles. *Ann. Soc. entomol. Fr.*, 24: 151-159.
- Bouffil, F. & Sauger, L., 1949. Première classification des variétés d'arachides de la collection de Bambey. Paris, *Agro. Trop.*, 4: 493-502.
- Bush, G.L. & S.R. Diehl, 1982. Host shifts, genetic models of sympatric speciation and the origin of parasitic insect species. In: J.H. Visser & A.K. Minks (eds.). *Proc. 5th Int. Symp. Insect-Plant Relationships*. Pudoc, Wageningen, pp. 297-305.
- Cancela da Fonseca J.P., 1964. Oviposition and length of adult life in *Caryedon gonagra* (F.). *Bull. entomol. Res.*, 5: 697-707.
- Catherinet, M., 1955. Etude sur le port de l'arachide cultivée. Un nouveau type variétal d'arachide, le type Boukombe. *Ann. C.R.A. Bambey. Bull. Agro.*, 15: 34-48.
- Chaibou M., Pierre D., Biémont J.C. & J. Pouzat, 1993. Existence d'une phéromone sexuelle chez *Caryedon serratus*: attractivité des femelles et réactivité des mâles. *Entomol. exp. appl.*, 67: 253-262.
- Chevalier, A., 1935. Monographie de l'arachide. II. L'arachide au Sénégal. *Rev. Bot. appl.*, 16: 673-871
- Clarke B., 1970. Darwinian evolution of proteins. *Science*, 168: 1009-1011.

- Conway J.A., 1975. Investigations into the origin, development and control of *Caryedon serratus* attacking stored groundnuts in the Gambia. *Proc. 1st int. work. Conf. stored Prod. Entomol.*, Savannah, 554-566.
- Conway J.A., 1983. Notes on biology and ecology of the groundnut seed beetle *Caryedon serratus* (Ol.), (Coleoptera: Bruchidae) under field conditions in Senegambia. *Trop. Stored. Prod. Inf.*, 45: 11-13.
- Corby, H.D.R., 1941. Report of a study of a pest (*Pachymoerus longus* Pic.) causing damage to groundnuts in the Wurkum district of the Muri Division of Adamwa. *Samaru, Nigeria, Agricultural Department*, 15 pp.
- Davey, P.M., 1958. The groundnut bruchid, *Caryedon gonagra* (F.). *Bull. of Entomol. Res.*, 49: 385-404.
- Decelle, J. 1966. *Bruchus serratus* Ol., 1790, espèce-type du genre *Caryedon* Schönherr, *Rev. Zool. Bot. afr.*, 74: 169-174
- Decelle, J., 1981. Bruchidae related to grain legumes in the Afro-Tropical area. *Ser. Ent.* Vol. 9. Ed. by V. Labeyrie, Junk Publisher, 197-201.
- Decelle, J., 1987. Les coléoptères bruchidae nuisibles aux légumineuses alimentaires cultivées dans la région afrotropicale. In "*Les légumineuses alimentaires en Afrique*". Ed. AUPELF, 188-200.
- De Lima, C.P.F., 1979. Appropriate techniques for use in the assessment of country loss in stored produce in the tropics. *Trop. Stored Prod. Inf.* 38: 15-19.
- Delobel, A., 1989. Influence des gousses d'arachide (*Arachis hypogaea*) et de l'alimentation imaginale sur l'ovogénèse, l'accouplement et le ponte chez la bruche *Caryedon serratus*. *Entomol. exp. appl.* 52: 281-289.
- Delobel, A., 1989. *Uscana caryedoni* (Hym. Trichogrammatidae): Possibilités d'utilisation en lutte biologique contre la bruche de l'arachide, *Caryedon serratus* (Col. Bruchidae). *Entomophaga*, 34: 351-363.

- Delobel, A., 1995. The shift of *Caryedon serratus* (Ol.) from wild Caesalpiniaceae to groundnuts took place in West Africa (Coleoptera: Bruchidae). *J. stored Prod Res.*, 31: 101-102.
- Delobel, A. & L. Matokot, 1991. Control of groundnut insect pests in African subsistence farming. In: F. Fleurat-Lessard & P. Ducom (eds.). *Proc. 5th int. work. Conf. stored Prod. Prot.*, Bordeaux, pp. 1599-1607.
- Delobel, A. & M. Tran, 1993. *Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes*. CTA et ORSTOM, 424 pp.
- Delobel, A., H. Delobel, M. Tran, M. Sembène & S.H. Han, 1995. Observations sur les relations trophiques entre les bruches du genre *Caryedon* (Coléoptères, Bruchidae) et leurs plantes hôtes sauvages au Sénégal. *Bull. Ins. Fond. Af. Noire Cheikh Anta Diop*, Dakar, série A, 48: 79-88.
- Dervin, C., 1988. *Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances*. I.T.C.F., Paris, 44 pp.
- Dobzansky, T.H., 1977. *Génétique du processus évolutif*. Flammarion, Paris.
- Drew, B.A., Granovsky, T.A. & C.J. Lindblad, 1978. Representative sampling, interpretation of results, accuracy and reliability. *Am. Assoc. Cereal Chem.*, 45-55.
- Duvigneaud, P., 1974. *La synthèse écologique. Populations, Communautés, Ecosystèmes, Biosphère, Noosphère*. Ed. Doin, Paris.
- Eanes, W. F. & R.K. Koehn, 1978. An analysis of genetic structure in the monarch butterfly *Danaus plexippus* L. *Evolution*, 32: 784-797.
- Emelianov, I., J. Mallet & W. Baltensweiler, 1995. Genetic differentiation in *Zeiraphera diniana* (Lepidoptera: Tortricidae, the larch budmoth): polymorphism, host races or sibling species? *Heredity*, 75: 416-424.
- Endler, J.A., 1973. Gene flow and population differentiation. *Science*, 179: 243-250.
- Endler, J.A., 1979. Gene flow and life history patterns. *Genetics*, 93: 263-284.

- Erlich, P.R. & Raven, P.H., 1969. Differentiation of populations. *Science*, 165: 1228-1232.
- Friendship, R., 1974. *A preliminary investigation of field and secco infestation of gambian groundnut by Caryedon serratus (Ol.)*. Trop. Prod. Inst., L. 38, 14 pp.
- Futuyma, D.J. & G.C. Mayer, 1980. Non-allopatric speciation in animals. *Syst. Zool.*, 29: 254-271.
- Gagnepain, C., Gillon, Y. & J.M. Leroux, 1986. *Caryedon serratus* (Col. Bruchidae), principal insecte consommateur des gousses de *Piliostigma thonningii* (Caesalpinaceae) en savane de Lamto (Côte d'Ivoire). *Ann. Soc. entomol. Fr. (N.S.)*, 4: 457-467.
- Gagnepain C., J.Y. Rasplus, 1989. *Caryedon serratus* and its parasitoids in the savanna around Lamto, Ivory Coast. *Entomophaga*, 34: 559-567.
- Gillier, P. & P. Silvestre, 1969. *L'arachide, techniques agricoles et production tropicales*. Ed. G.P. Maisonneuve et Larose, 292 pp.
- Gillier, P. & A. Bockelée-Morvan, 1979. La protection des stocks d'arachide contre les insectes. *Oléagineux*, 3: 131-137.
- Goudet, J., 1995. Fstat (version 1.2) : a computer program to calculate F-statistics. *Journal of Heredity*, 86: 485-486.
- Green, A., 1959. The control of insects infesting groundnuts after harvest in the Gambia I. A study of the groundnut borer *Caryedon gonagra* (F.) under field conditions. *Trop. Sci.*, 1: 200-205.
- Gregory, W.C., Smith, B.W., J.A. Yarbrough. 1951. Morphology, genetics and breeding in the peanut. In "*The unpredictable legume. A symposium, Washington*", *The Nat. Fert. Asso.* 28-88.
- Harris, H., 1966. Enzyme polymorphisms in man. *Proc. Roy. Soc.*, 164: 298-310.
- Hartl, D.L., 1994. *Génétique des Populations*. Ed. Flammarion, Paris, 305 pp.

- Haryadi, Y., 1987. *Critères qualitatifs et techniques associés à la multiplication du charançon du riz, Sitophilus oryzae (L.) (Col. ; Curculionidae) dans un stock de riz paddy au cours de sa conservation en enceintes étanches sous atmosphères modifiées et en conditions du climat tropical.* Mem. D.A.A., ENSAM, Montpellier, 28 pp.
- Hsiao, T.H. & J.M. Stutz, 1985. Discrimination of alfalfa weevil strains by allozyme analysis. *Entomol. exp. appl.*, 37: 113-121.
- Hubert B., 1977. Ecologie des populations de rongeurs de Bandia (Sénégal) en zone sahélo-soudanienne. *La terre et la vie*, 31: 33-100.
- Huignard, J. 1976. Interactions between the host-plant and mating upon the reproductive activity of *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae) from different colombian ecosystems. *Oecologica* (Berl.), 35: 307-318.
- Jacobson, J.W. & T.H. Hsiao, 1983. Isozyme variation between geographic populations of the Colorado Potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Ann. entomol. Soc. Am.*, 76: 162-166.
- Janzen, D.H., 1974. The role of the seed predator guild in a tropical deciduous forest, with some reflections on tropical biological control. In "Biology in Pest and Disease control". Blackwell. Oxford U.K: 3-14. D.P. Jones and M.F. Solomon ; eds.
- Janzen, D.H., 1980. Specificity of seed-attacking beetles in a Costa Rica deciduous forest. *J. Ecol.*, 929-952.
- Jarry, M., 1984. Les insectes phytophages ont-ils des "stratégies" pour exploiter les ressources végétales ? Quelques réflexions à propos du cas de la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* (Col. Bruchidae). S.F.E.C.A. 1:197-200.
- Johnson, C.D. & J.M. Kinsolver, 1981. Checklist of the Bruchidae (Coleoptera) of Canada, United States, Mexico, Central America and the west Indies. *Coleopterists' Bulletin*, 35: 409-422.
- Johnson, C.D. & R.A. Kister, 1987. Nutritional ecology of bruchid beetles. Offprints from nutritional ecology of insects, mites and spiders. Ed. D<sup>r</sup> Frand Slansky Jr and Dr. J. Rodriguez, 259-282.

- Kassem, H.A., D.J. Fryauff, M.G. Shehata & B.M. El Sawaf, 1993. Enzyme polymorphism and genetic variability of one colonized and several field populations of *Phlebotomus papatasi* (Diptera-Psychodidae). *J. Med. Entomol.*, 30: 407-413.
- Kerharo, J. & J.D. Adam, 1974. La pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Plantes médicinales et toxiques. Ed. Vigot frères, Paris, 480 pp.
- Kimura, M., 1990. *Théorie neutraliste de l'évolution moléculaire*. Ed. Flammarion, Paris
- Klein, M. & A. Seitz, 1994. Geographic differentiation between populations of *Rhinocyllus conicus* Frölich (Coleoptera: Curculionidae): concordance of allozyme and morphometric analysis. *Zool. J. Lin. Soc.*, 110: 181-191.
- Koyabay, S., 1988. *Etude des problèmes biologiques liés au stockage villageois des arachides*. Mém. Inst. sup. Dévelop. rural, Mbaiki (RCA), 76 pp.
- Krafsur, E.S., J.J. Obrycki & R.V. Flanders, 1992. Gene flow in populations of the Seven-Spotted Lady Beetle, *Coccinella septempunctata*. *Heredity*, 83: 440-444.
- Labeyrie, V., 1957. Influence des techniques de récolte des haricots secs sur l'intensité des attaques d'*Acanthoscelides obtectus*. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 43: 138-140.
- Labeyrie, V., 1977. Environnement sensoriel et coévolution des insectes. In "*Comportement des insectes et milieu trophique*", Ed. V. Labeyrie, coll. int. C.N.R.S., 265, 493.
- Labeyrie, V., 1978. The significance of the environment in the control of insect fecundity. *Ann. Rev. Entomol.*, 23: 69-89.
- Labeyrie, V., 1978. Reproduction of insects and coevolution of insects and plants. *Entomol. Exp. App.* 24: 496-514.
- Labeyrie, V., 1981. Ecological problems arising from weevil infestation of food legumes; *eries Entomol.*, vol. 19, Ed. by V. Labeyrie, Junk Publishers.
- Lebrun, P. & M.H. Chevallier, 1990. *Starch and Polyacrilamide Gel Electrophoresis of Hevea brasiliensis. A Laboratory Manual*. I.R.C.A.- C.I.R.A.D.-Publisher, France, 55 pp.

- Lewontin, R.C. & J.L. Hubly, 1966. A molecular approach to the study of genetic heterozygosity in natural populations of *Drosophila pseudoobscura*. *Genetics*, 54: 595-609.
- Lucotte, G., 1983. *Génétique des populations: initiation théorique et biochimique à l'étude du polymorphisme*. Ed. InterEditions, 200 pp.
- Mapangou-Divassa, S., 1985. *Sensibilité à la bruche *Caryedon serratus* Ol. (Col. Bruchidae) de quelques variétés d'arachide cultivées en République Populaire du Congo*. Mem. Ing. Dev. Rur., Uni. M. Ngouabi, Brazzaville, 80 pp.
- Matokot, L., S. Mapangou-Divassa & A. Delobel, 1987. Evolution des populations de *Caryedon serratus* (Ol.) dans les stocks d'arachide au Congo. *Agron. trop.*, 42: 69-74.
- Maydell, H.H. von, 1992. *Arbres et arbustes du Sahel*. Verlag J. Margraf, 531 pp.
- Mayr, E., 1974. *Populations, espèces et évolution*. Hermann, Paris, 496 pp.
- McCauley, D.E. & W.F. Eanes, 1987. Hierarchical population structure analysis of the milkweed beetle, *Tetraopes tetraophthalmus* (Forster). *Heredity*, 58:193-201.
- Menken, S.B.J., 1982. Biochemical genetics and systematics of small ermine moths (Lepidoptera- Yponomeutidae). *Zool. Syst. evolut.-Forsch.*, 20: 131-143.
- Messina, F.J., 1987. Genetic contribution to the dispersal polymorphism of the cowpea weevil (Coleoptera, Bruchidae). *Ann. entomol. Soc. Am.*, 80: 12-16.
- Mitter, C. & D.J. Futuyma, 1979. Population genetic consequences of feeding habits in some forest Lepidoptera. *Genetics*, 92: 1005-1021.
- Moretti, J., G. Broussier & M.F. Jayle, 1957. Réalisation technique et premières applications de l'électrophorèse sur gel d'amidon. *Bull. Soc. Ch. Bio.*, 39: 593-605.
- Muzerki, S. & Ramdas Menon, M.G., 1957. The taxonomic position of *Caryedon fuscus* (Goeze), *C. gonager* (Fabricius) and *C. languidus* (Gyllenhal) (Coleoptera, Bruchidae) based on the genitalia. *Proc. R. Ent. Soc. Lon.*, 4:103-106.

- Ndiaye, A., 1981. *Biologie de la bruche de l'arachide, Caryedon serratus Ol. ; effets des rayons X sur la femelle*. Thèse 3ème cycle, Uni. Paris Sud, Orsay, n° 2971, 135 pp.
- Ndiaye, S., 1991. *La bruche de l'arachide dans un agrosystème du centre-ouest du Sénégal: Contribution à l'étude de la contamination en plein champ et dans les stocks de l'arachide (Arachis hypogaea L.) par Caryedon serratus (Ol.) (Coleoptera-Bruchidae); rôle des légumineuses hôtes sauvages dans le cycle de cette bruche*. Thèse Université de Pau et des Pays de l'Adour, 96 pp.
- Ndiaye, S. & M. Jarry, 1990. Importance de certaines légumineuses arborées et arbustives au Sénégal dans le cycle de *Caryedon serratus* (Ol.), et influence sur la contamination en plein champ de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.). In: F. Fleurat-Lessard & P. Ducom (eds.). *Proc. 5th Int. Work. Conf. Stored Prod. Prot.*, Bordeaux, 3: 1663-1669.
- Ndioulou, D., 1983. Les bruches sur les légumineuses cultivées en République Populaire du Congo: origine des attaques et plantes hôtes naturelles. *Doc. Ronéo, Off. Rech. Sc. Tech. Outre-Mer*.
- Nei, M., 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*, 89: 583-590.
- Nei, M., & Chesser, R.K., 1983. Estimation of fixation indices and gene diversities. *Ann. Hum. Genet.*, 47: 253-259.
- Nevo, E. 1978. Genetic variation in natural populations: patterns and theory. *Theor. Popul. Biol.*, 13: 121-177.
- Ohta, T., 1992. The nearly neutral theory of molecular evolution. *Ann. Rev. Ecol. Sys.*, 23: 263-286.
- Ouazzani, N., R. Lumaret, P. Villemur & F. Di Giusto, 1993. Leaf allozyme variation in cultivated and wild olives trees (*Olea europaea* L.). *J. Heredity*, 84: 34-42.
- Pajni, H.R. & Mann, B.K. 1979. Some aspects of the biology of *Caryedon serratus* (Ol.) *Bull. Grain Technol.*, 17: 43-47.

- Pasteur, N., G. Pasteur, F. Bonhomme, J. Catalan & J. Britton-Davidian, 1987. *Manuel Technique de Génétique par Electrophorèse des Protéines*. Ed. Lavoisier, Technique et Documentation, Paris, 210 pp.
- Philippeau, G., 1986. *Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales*. I.T.C.F., Paris, 63 pp.
- Pic, M., 1924. *Mélanges exotico-entomologiques: Nouveautés diverses*, p. 23-25.
- Pierre, D. & J. Huignard, 1990. The biological cycle of *Caryedon serratus* Boh. (Coleoptera, Bruchidae) on one of its host plants *Bauhinia rufescens* Lam. (Caesalpinioideae) in a Sahelian zone. *Acta Oecologica* 11: 93-101.
- Pimbert, M., 1985. Comparaison des comportements de ponte de *Zabrotes subfaciatus* en présence de gousses et de graines de *Phaseolus vulgaris* L. *Biol. Behav.* 10: 309-319.
- Pointel J.G. & Yaciuk G., 1979. Infestation par *Caryedon gonagra* F. de stocks expérimentaux d'arachides en coque au Sénégal et températures observées. *Z. angew. Zool.* 66: 185-198.
- Pouzat, J., 1977. Effets des stimulations provenant de la plante hôte, le haricot, *Phaseolus vulgaris* L., sur le comportement de la ponte de la bruche du haricot, *Acanthoscelides obtectus* Say. In "*Comportement des insectes et milieu trophique*". Ed. V. Labeyrie, 115-131.
- Prevelt P.F., 1965. The genus *Caryedon* in Northern Nigeria, with descriptions of six new species. *Ann. Soc. entomol. Fr.*, 1: 523-547.
- Prevelt P.F., 1966. Notes on the biology, food plants and distribution of Nigerian Bruchidae, with particular reference to the northern region. *Bull. entomol. Soc. Nigeria*, 1: 3-6.
- Prevelt P.F., 1966. Observations on biology in the genus *Caryedon* Schoenherr in northern Nigeria, with a list of associated parasitic Hymenoptera. *Proc. r. entomol. Soc. London*, 41: 9-16.
- Prevelt P.F., 1967. The field occurrence of *Caryedon serratus* (Ol.), the groundnut seed beetle, in Uganda. *J. stored Prod. Res.* 30: 267-268.

- Rasplus, J.Y., 1988. *La communauté parasitaire des coléoptères séminivores de Légumineuses dans une mosaïque forêt-savane en Afrique de l'Ouest (Lamto-Côte d'Ivoire)*. Thèse Doctorat (Entomologie) Univers. Orsay, Paris XI, 437 pp.
- Raymond, M. & F. Rousset, 1995. Genepop (V. 1.2): a population genetics software for exact tests ecumenicism. *J. Heredity*, 86: 248-249.
- Ribodeau, M., 1995. *Structuration génétique et spatiale des populations de Bruchus affinis Frölich (Coleoptera-Bruchidae), insecte inféodé à une légumineuse à distribution morcelée, Lathyrus sylvestris L.* Thèse Université de Pau et des Pays de l'Adour, 115p.
- Risbec, J., 1950. *La faune entomologique des cultures au Sénégal et au Soudan Français*. Gou. Gén. A.O.F., 639 pp.
- Robert, P., 1984. *Contribution à l'étude de l'écologie de la bruche de l'arachide: Caryedon serratus Ol. (Coléoptère, Bruchidae), sur ses différentes plantes hôtes*. Thèse Université François Rabelais de Tours, 122 pp.
- Robert, P., 1985. A comparative study of some aspects of the reproduction of three *Caryedon serratus* strains in presence of its potential host plants. *Oecologia* (Berlin), 65: 425-430.
- Rogers, J. S., 1972. Measures of genetic similarity and genetic distance. *Studies in Genetics VII*. University of Texas Publication 7213: 145-153.
- Rowell-Rahier, M., 1992. Genetic structure of leaf-beetles populations: microgeographic and sexual differentiation in *Oreina cacaliae* and *O. speciosissima*. *Entomol. exp. appl.*, 65: 247-257.
- Sagot, R. & Bouffil F., 1935. Etudes sur la bruche de l'arachide (*Pachymoeris acaciae*) *Bull. Comm. AOF* . 18: 79-91.
- Seshadri, C.R., 1962. *Groundnut*. Hyderabad-1. Indian Oilseeds Committee, 274 pp.
- Snedecor, G.W. & W.G. Cochran, 1967. *Statistical methods. Sixth Edition*. Iowa State Univ. Press, Ames, 593 pp.

- Solignac, M., Periquet, G., Anxolabéhère, D. & C. Petit, 1995. *Génétique et évolution, Tome 1. La variation, les gènes dans les populations*, Paris, Hermann, 295 pp.
- Southgate, B.J. & Pope R.D., 1957. The groundnut seed beetle, a study of its identity and taxonomic position. *Ann. Mag. nat. Hist.*, 12: 669-672.
- Suzuki, D.T., Griffiths, A.J.F., Miller, J.H. & R.C. Lewontin, 1991. *Introduction à l'analyse génétique*. Ed. Universitaires, Paris, 768 pp.
- Swofford, D.L. & R.B. Selander, 1981. Biosys-1: a Fortran program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetics and systematics. *J. Heredity*, 72: 281-283.
- Terranova, A. C., 1981. *Polyacrilamide Gel Electrophoresis of Anthonomus grandis Boheman Proteins*. USDA, SEA, Agronomical Research Results ARR-S-9, 48 pp.
- Tomassone, R., 1988. *Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle discriminante*. I.T.C.F., Paris, 56 pp.
- Velez Angel, R., 1972. El gorgojo del tamarindo, *Caryedon serratus* (Olivier). *Rev. Facultad Nac. Agron. Medellin*, 27: 71-74.
- Vieira Da Silva, J., 1988. Amélioration et physiologie de l'arachide en milieu semi-aride. *Coll. F.I.S.*, Madagascar, 113-120.
- Walhund, S., 1928. Zusammensetzung von populationen und korrelationserscheinungen vom Standpunkt der Vererbungstheorie aus betrachtet. *Hereditas*, 11: 65-106.
- Ward, R.D., Skibinski, D.O.F. & M. Woolwark. 1992. Protein heterozygosity, protein structure and taxonomic differentiation. *Evolution*, 26: 73-159.
- Weir, B.S. & C.C. Cockerham, 1984. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*, 38: 1358-1370.
- Wright, S., 1931. Evolution in mendelian populations. *Genetics*, 16: 97-159.
- Wright, S., 1978. *Evolution and the genetics of populations. Vol. 4. Variability within and among natural populations*. University of Chicago, *in press*.

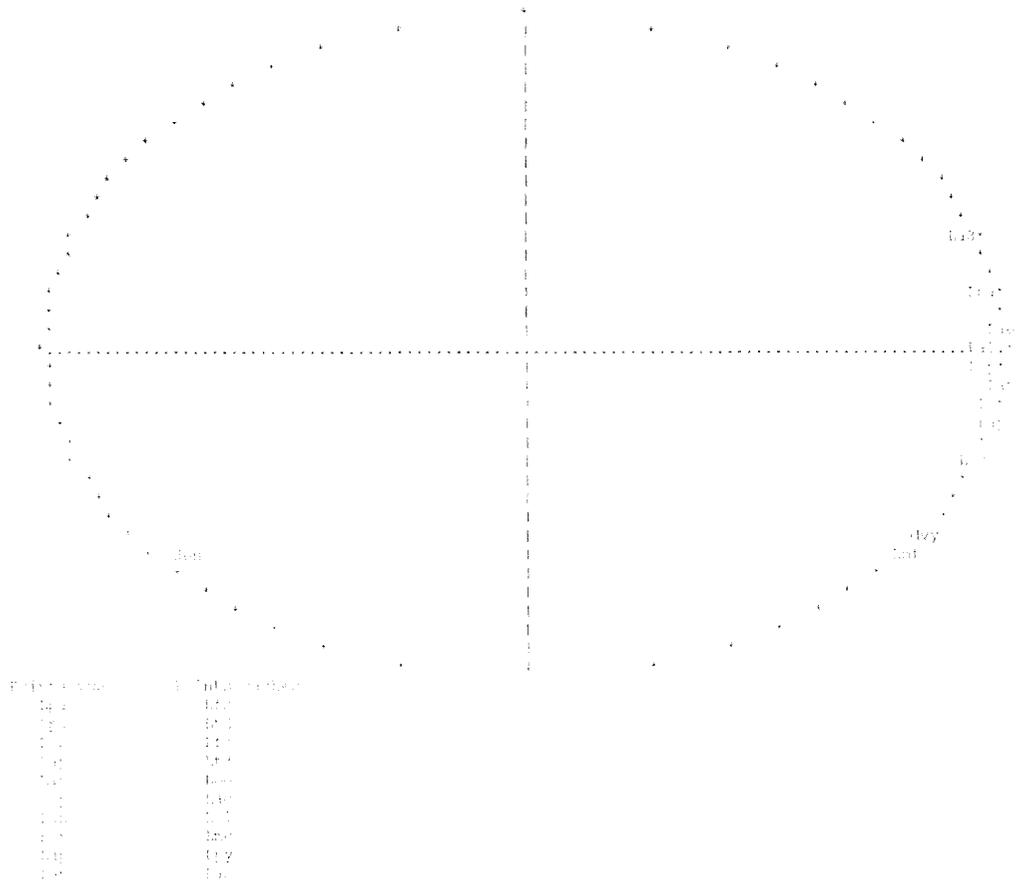
Yoccoz, N.G., 1988. *Le rôle du modèle euclidien d'analyse des données en biologie évolutive*. Thèse Univ. Lyon, 325 pp.

Yong, H.S., 1992. Allozyme variation in the melon fly *Dacus cucurbitae* (Insecta: Diptera: Tephritidae) from Peninsular Malaysia. *Comp. Biochem. Physiol.*, 102B 2: 367-370.

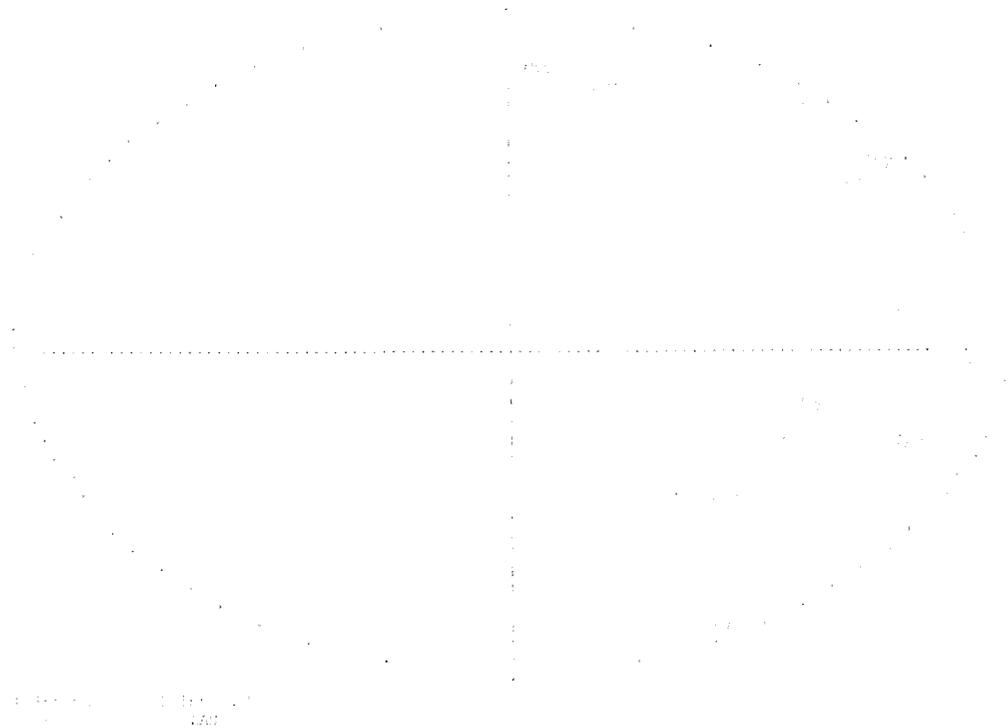
# **ANNEXES**

Annexe I: Cercle de corrélation entre variables: **a**: données brutes ; **b**: données transformées.

**a**



**b**



Annexe II: Fiche d'électrophorèse

Date: 22-01-96

Tampon gel: T.M

Tampon de migration: T.M.

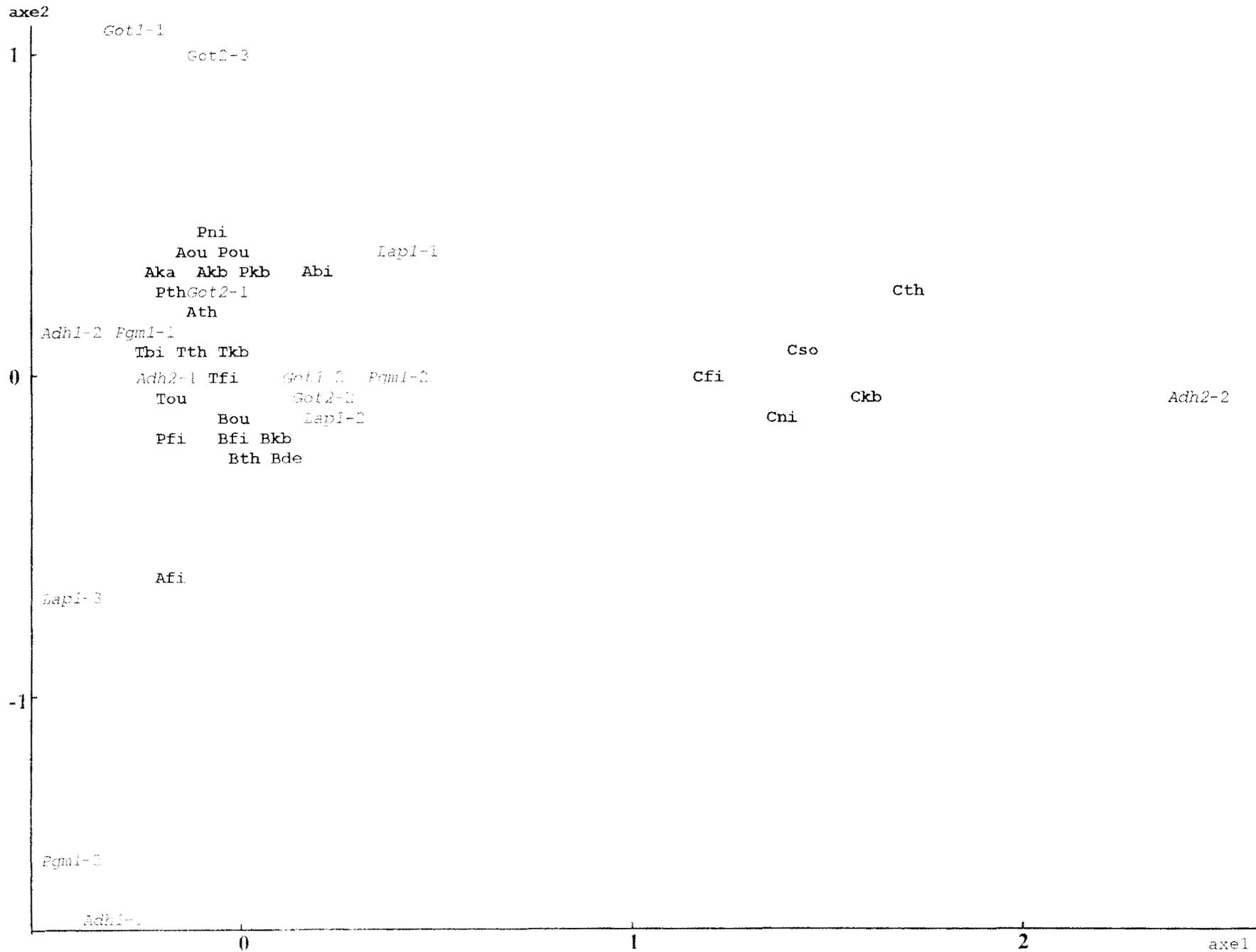
Matériel: Casydon seratus

Code: Tfi

Migration: 15h

Remarques: néant

	Got-1	Got-2	Lap-1	Adh-1	Adh-2	Pgm-1
1	22		22	22	11	12
2			19			22
3			22			
4			22			
5			23			
6			23			
7			22			11
8			22			22
9			23			12
10			22			12
11						22
12						12
13			12			22
14			22			11
15						22
16						22
17						11
18						11
19						22
20						12
21						22
22			12			12
23			12			22
24			22			12
25			23			22
26			22			12
27			23			22
28			23			11
29			22			22
30						22
31						11
32						22
33						12
34						11
35						22
36						22
37						22
38			12			22
39			22			22
40			22			22



Annexe III: Analyse Factorielle des Correspondances des 26 échantillons de *C. serratus* analysés.



Annexe V:  $F$ -statistiques de Wright (1978): estimateurs de Weir & Cockerham (1984).

a: analyse sur tous les échantillons

Over all populations

For locus : Got-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.600	0.017	0.593	0.021
2	0.600	0.017	0.593	0.021
All	0.600	0.017	0.593	0.021

For locus : Got-2

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.892	0.023	0.889	0.024
2	0.771	0.051	0.758	0.057
3	0.495	0.045	0.472	0.060
All	0.770	0.040	0.761	0.045

For locus : Lap-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.358	0.032	0.337	0.048
2	0.352	0.003	0.350	0.005
3	0.481	0.062	0.446	0.084
All	0.373	0.023	0.358	0.034

For locus : Adh-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.231	0.146	0.100	0.237
2	0.813	0.784	0.133	0.865
3	1.000	0.933	1.000	0.933
All	0.821	0.770	0.220	0.846

For locus : Adh-2

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.457	0.480	-0.043	0.658
2	0.457	0.480	-0.043	0.658
All	0.457	0.480	-0.043	0.658

For locus : Pgm-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.294	0.059	0.250	0.091
2	0.236	0.059	0.189	0.095
3	-0.017	0.053	-0.073	0.108
All	0.251	0.058	0.205	0.093

Over all loci

Capf	Theta	Smallf	Relat
0.506	0.279	0.315	0.371

b: analyse sans les échantillons "*Cassia sieberiana*"

Over all populations

For locus : Got-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.639	0.016	0.633	0.019
2	0.639	0.016	0.633	0.019
All	0.639	0.016	0.633	0.019

For locus : Got-2

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.887	0.023	0.885	0.024
2	0.750	0.051	0.736	0.059
3	0.492	0.038	0.472	0.051
All	0.749	0.039	0.739	0.045

For locus : Lap-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.339	0.039	0.312	0.058
2	0.339	0.006	0.335	0.009
3	0.473	0.049	0.446	0.066
All	0.362	0.025	0.346	0.037

For locus : Adh-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.074	0.140	-0.077	0.261
2	0.074	0.140	-0.077	0.261
All	0.074	0.140	-0.077	0.261

For locus : Adh-2

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.313	0.005	0.309	0.007
2	0.313	0.005	0.309	0.007
All	0.313	0.005	0.309	0.007

For locus : Pgm-1

Allele	Capf	Theta	Smallf	Relat
1	0.288	0.027	0.268	0.041
2	0.216	0.019	0.201	0.031
3	-0.021	0.049	-0.073	0.100
All	0.237	0.024	0.218	0.039

Over all loci

Capf	Theta	Smallf	Relat
0.362	0.034	0.340	0.049

**Titre:** Modalités d'infestation de l'arachide par la bruche *Caryedon serratus* (Olivier) en zone soudano-sahélienne: identification morphométrique et génétique de populations sauvages et adaptées.

Nom du candidat: **Mbacké SEMBENE**

Nature de la thèse: **Doctorat de 3ème Cycle** de Biologie Animale

**Jury:** Président: M. Bhen Sikina TOGUEBAYE  
Membres: MM. Alex DELOBEL  
Didier FONTENILLE  
Sun Heat HAN  
Jean TROUILLET

### Résumé:

L'arachide, principale culture de rente au Sénégal, subit de lourdes pertes à la suite de son infestation par la bruche *Caryedon serratus* (Olivier).

*Caryedon serratus* est un insecte doté d'une grande plasticité de ponte. Au Sénégal, il se développe sur des légumineuses arborescentes relativement communes dans la région du bassin arachidier: *Bauhinia rufescens*, *B. monandra*, *B. tomentosa*, *Cassia sieberiana*, *Piliostigma reticulatum*, *P. thonningii* et *Tamarindus indica*. Il pond sur *Prosopis africana* et *Detarium senegalensis* mais ses larves ne parviennent pas à se développer sur ces Légumineuses.

C'est une bruche qui s'est secondairement adaptée à l'arachide (*Arachis hypogaea*, Fabaceae) devenant ainsi l'unique espèce du genre *Caryedon* contaminant cette légumineuse. Il semble que les principaux facteurs influençant l'évolution des populations de cette bruche soient climatiques et biocénétiques.

L'étude de la dynamique d'infestation de l'arachide séchée au champ nous a permis de préciser qu'il subsiste toujours, durant la période hivernale, une faible population de *C. serratus*, reproductivement active, qui infeste l'arachide nouvellement récoltée. Cette infestation quoique faible durant les deux premiers mois (environ 0,2% des gousses), se poursuit et est à l'origine d'importantes pertes quantitatives à cause du caractère polyvoltin de la bruche de l'arachide. Le stockage en sacs en polypropylène tressé limite cependant l'infestation *in situ* par confinement des insectes.

La prospection, effectuée aux abords de la limite nord de l'aire de distribution des plantes hôtes naturelles de *C. serratus*, révèle qu'il existe une corrélation positive entre la présence de ces plantes et le niveau d'infestation de l'arachide. Dans les zones où ces plantes sont quasiment absentes (Nord du Sénégal), l'infestation de l'arachide par *C. serratus* est pratiquement nulle.

Les analyses morphométrique et génétique des différentes souches de bruches montre que la population de *C. serratus* forme des biotypes liés à chacune des espèces de plante hôte (*host-races*) aussi bien sur le plan morphologique que génétique. Il existe un flux génique très élevé entre les *C. serratus* issus de l'arachide et ceux provenant de *Piliostigma reticulatum*. Ces bruches se distinguent de celles inféodées aux autres plantes hôtes.

Il ressort de ces analyses qu'au Sénégal, l'infestation primaire de l'arachide nouvellement récoltée est due à des femelles de *C. serratus* issues des gousses de *Piliostigma reticulatum*.

A partir de ces résultats, nous émettons quelques recommandations afin d'empêcher ou d'atténuer fortement l'infestation des récoltes d'arachide: éliminer les gousses de *Piliostigma reticulatum* avant leur maturité en les cueillant pour le bétail, raccourcir le plus possible la période de séchage de l'arachide au champ, stocker l'arachide dans des sacs en polypropylène tressé en les remplissant pleinement...etc. D'autres recommandations concernant la commercialisation de l'arachide et des précautions à prendre au niveau des magasins de l'Etat sont aussi émises.

**Mots clés:** Arachide, Bruche, *Caryedon serratus*, infestation, morphométrie, génétique, population.