

Etudes et Thèses



LES FOREURS DU MAIS EN ZONE DES SAVANES EN COTE-D'IVOIRE

DONNÉES MORPHOLOGIQUES,
BIOLOGIQUES, ÉCOLOGIQUES.
ESSAIS DE LUTTE ET
RELATION PLANTE-INSECTE

Pascal MOYAL

Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Pascal MOYAL

**LES FOREURS DU MAIS
EN ZONE DES SAVANES
EN COTE-D'IVOIRE**

DONNÉES MORPHOLOGIQUES,
BIOLOGIQUES, ÉCOLOGIQUES.
ESSAIS DE LUTTE ET
RELATION PLANTE-INSECTE

Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Collection **ÉTUDES et THÈSES**

PARIS 1988

Cet ouvrage a fait l'objet d'une thèse,
soutenue le 27 novembre 1986, à l'Université de Paris VII,
pour obtenir le titre de Docteur ès Sciences Naturelles.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	7
PREMIERE PARTIE : MILIEU NATUREL ET MILIEU CULTIVE....	9
Introduction.....	10
Chapitre 1 : Le milieu naturel.....	12
Introduction.....	12
1- Caractéristiques climatiques.....	13
1-1 Considérations générales.....	
1-2 Régimes pluviométriques des dernières années.....	
2- Caractéristiques botaniques.....	22
2-1 Le domaine soudanais.....	
2-1 Le domaine guinéen.....	
Chapitre 2 : Le milieu cultivé.....	26
1- Considérations générales.....	26
2- La culture du maïs dans la zone des savanes.....	27
2-1 Culture du maïs et mode d'exploitation.....	
2-2 Les cycles de culture du maïs.....	
2-3 Le niveau d'intensification.....	
3- Les rendements des cultures de maïs en milieu paysan.....	37
Conclusion	41
DEUXIEME PARTIE : DONNEES MORPHOLOGIQUES	43
Introduction.....	44
Chapitre 1 : Quelques éléments de détermination d'un foreur du maïs mal connu : <u>Mussidia nigrivenella</u> Ragonot.....	45
Introduction.....	45
1- Quelques caractéristiques morphologiques d' <u>Hypsipyla robusta</u> (Moore), de <u>Catopyla disorpha</u> Bradley et de notre espèce.....	46
1-1 Les genres <u>Hypsipyla</u> Ragonot et <u>Catopyla</u> Bradley.....	
1-2 Description de l'espèce rencontrée sur épi de maïs en Côte d'Ivoire.....	
1-3 Discussion.....	
2- Le genre <u>Mussidia</u> et l'espèce <u>Mussidia nigrivenella</u>	57
Conclusion.....	58

Chapitre 2 : Eléments de morphologie des stades pré-imaginaux.....	62
Introduction.....	62
1- Habitus des stades pré-imaginaux de <u>Mussidia</u> <u>nigrivenella</u> Ragonot et de <u>Cryptophlebia</u> <u>leucotreta</u> (Meyrick).....	62
1-1 <u>Mussidia nigrivenella</u> Ragonot.....	
1-2 <u>Cryptophlebia leucotreta</u> (Meyrick).....	
2- Comparaison de la chétotaxie larvaire des diverses espèces de foreurs.....	72
2-1 Méthodologie.....	
2-2 Résultats.....	
2-3 Discussion.....	
Conclusion.....	90
Conclusion.....	92
 TROISIEME PARTIE : DONNEES BIOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES.....	 95
Introduction	96
Chapitre 1 : Les foreurs de la tige.....	97
Introduction.....	97
1- Caractéristiques biologiques.....	97
2- Caractéristiques écologiques.....	99
2-1 Méthodologie.....	
2-2 Résultats.....	
2-3 Discussion.....	
2-3-1 La répartition géographique des divers foreurs.....	
2-3-2 Fluctuations des populations sui- vant les cycles de culture et les années.....	
2-3-3 Fluctuations des populations au cours d'un cycle de culture.....	
2-3-4 Autres données écologiques.....	
Conclusion.....	117
Chapitre 2 : <u>Mussidia nigrivenella</u> Ragonot, foreur de l'épi de maïs.....	119
Introduction.....	119
1- Caractéristiques biologiques.....	120
1-1 L'élevage au laboratoire.....	
1-2 Le milieu artificiel.....	
1-3 Le nombre et la durée des stades pré- imaginaux.....	
1-4 Fécondité et fertilité.....	
1-5 Le sex-ratio.....	
2- Caractéristiques écologiques.....	126
2-1 Répartition géographique.....	
2-2 Plantes-hôtes.....	
2-3 Evolution des populations de <u>Mussidia</u> <u>nigrivenella</u> dans une culture de maïs.....	

2-3-1 Méthodologie.....	
2-3-2 Structure spatiale des populations..	
2-3-3 Evolution des populations dans le temps.....	
2-3-4 Le parasitisme.....	
2-3-5 Comportement des larves au champ....	
2-3-6 Mortalité des divers stades.....	
2-4 Fluctuations spatio-temporelles des populations de foreurs de l'épi.....	
Conclusion.....	155
Conclusion.....	157
QUATRIEME PARTIE : ESSAIS DE LUTTE	159
Introduction.....	160
1- Méthodologie.....	161
1-1 Le choix des dates de traitement.....	
1-2 Le choix des modes d'épandage.....	
1-3 Le choix du dispositif expérimental.....	
1-4 Les divers insecticides testés.....	
1-5 Les dates de suivi parasitaires.....	
1-6 Les méthodes d'analyse.....	
2- Résultats.....	170
2-1 Essais de lutte chimique.....	
2-1-1 Foreurs des tiges.....	
2-1-2 Foreurs des épis.....	
2-2 Aspect varietal.....	
3- Discussion.....	217
3-1 Les produits et les doses efficaces.....	
3-2 Les dates de traitement.....	
3-3 Les modes d'épandage.....	
3-4 Le cas de <i>Mussidia nigrivenella</i>	
3-5 La lutte variétale.....	
3-6 La lutte agronomique.....	
3-7 La qualité de l'expérimentation.....	
Conclusion.....	229
CINQUIEME PARTIE : ASPECTS QUANTITATIFS DE LA RELATION PLANTE-INSECTE.....	233
Introduction	234
Chapitre 1 : L'impact des foreurs sur le rendement du maïs en Côte d'Ivoire centrale.....	236
1- Considérations générales sur la relation attaque rendement.....	236
1-1 La notion de compensation ou croissance compensatrice.....	
1-2 La courbe de réponse généralisée.....	
1-3 Les méthodes des "points multiples" et de la "surface sous la courbe".....	

2- Le cas des foreurs du maïs en Côte d'Ivoire centrale.....	245
2-1 Les méthodes utilisées.....	
2-1-1 Pour l'obtention des résultats....	
2-1-2 Pour l'analyse.....	
2-2 Les modalités d'attaque.....	
2-3 Résultats.....	
2-3-1 Insectes foreurs de la tige.....	
2-3-2 Insectes foreurs de l'épi.....	
2-3-3 Analyse globale tous foreurs confondus.....	
2-4 Discussion.....	
Chapitre 2 : L'action des foreurs sur les composantes du rendement.....	282
1- Elaboration du rendement chez <u>Zea mays</u>	282
1-1 Quelques aspects de la physiologie du maïs.....	
1-1-1 Les divers stades du développement.....	
1-1-2 Répartition des éléments nutritifs au cours du cycle.....	
1-2 Les composantes du rendement du maïs.....	
2- Impact des foreurs sur les composantes du rendement du maïs en Côte d'Ivoire centrale.....	291
2-1 Méthodologie	
2-2 Résultats.....	
2-2-1 Impact sur la densité de plants à l'hectare.....	
2-2-2 Impact sur le nombre d'épis à l'hectare.....	
2-2-3 Impact sur le nombre de grains par épi.....	
2-2-4 Impact sur le poids moyen d'un grain.....	
2-2-5 Impact respectif des divers facteurs intervenant pour réduire la production.....	
2-3 Discussion.....	
Conclusion.....	312
CONCLUSION GENERALE.....	317
BIBLIOGRAPHIE.....	322
ANNEXES.....	331

INTRODUCTION GENERALE

En 1980, la population de Côte d'Ivoire était évaluée à 8,4 millions d'habitants. En l'an 2000, les prévisions de la Banque mondiale (Macnamara, 1985) la situent à 17,3 millions d'habitants.

L'alimentation des Ivoiriens est à base de tubercules (Igname, Manioc, Taro), de banane plantain et de céréales (essentiellement Maïs et Riz). Pourrait-elle être assurée lorsque la population aura doublé ? Déjà, actuellement des difficultés existent : Y. Léon écrivait en 1983 : "le Secrétaire d'Etat à l'Agriculture faisait état en Décembre 1981, au cours d'une réunion au Ministère de l'Agriculture, des chiffres suivants : en 1980, les productions d'igname, de banane, de manioc couvrent les besoins nationaux ; en maïs, il existe un déficit de 30 000 tonnes ; nous connaissons le déficit en paddy (360 000 tonnes). En 1985, le pays, si rien n'est fait, sera déficitaire dans l'ensemble des produits : 100 000 tonnes en ignames, 100 000 tonnes en manioc, 100 000 tonnes en bananes plantain, 100 000 tonnes en maïs et 557 000 tonnes en paddy.

Il faut donc dynamiser la production vivrière. Maïs comment ?"

Le Maïs était, en 1982, la première céréale en Côte d'Ivoire par l'importance de sa production : 470 000 tonnes contre 420 000 tonnes pour le paddy. La superficie en maïs était de 520 000 hectares (Statistiques du Ministère de l'Agriculture).

Il s'agit donc d'une culture importante, destinée pour l'essentiel à l'autoconsommation.

Si l'on considère que la demande en maïs suivra l'évolution de la population (ce qui semble un minimum, puisque l'industrie, en particulier celle des aliments du bétail, pourrait connaître un certain développement), il faudra donc approximativement doubler la production d'ici à l'an 2000.

Pour atteindre cet objectif, une des voies possibles est l'intensification de la culture : utiliser des variétés améliorées, de l'engrais, lutter contre l'enherbement et protéger, si nécessaire, la culture contre les ravageurs.

Mais y a-t'il réellement un problème de ravageurs, et plus particulièrement d'insectes sur maïs ? C'est la question à laquelle ce mémoire ambitionne de répondre, du moins pour les foreurs du maïs de la zone des savanes de Côte d'Ivoire, et pour les trois ou quatre années au cours desquelles ont été effectuées nos observations.

Pour y parvenir nous franchirons les étapes suivantes : tout d'abord nous verrons quels sont les foreurs du maïs que l'on rencontre en zone des savanes de Côte d'Ivoire, et comment l'on peut les reconnaître ; ensuite nous étudierons quelques éléments de leur biologie, et nous observerons les fluctuations spatio-temporelles des divers foreurs ; puis nous nous intéresserons à la mise au point de méthodes de lutte contre ces ravageurs, et enfin, nous étudierons leur nuisibilité en précisant leur impact sur le rendement du maïs.

Mais avant d'entrer dans le vif du sujet, il est nécessaire de présenter la région où nous avons réalisé ce travail, et la culture du maïs telle qu'elle y est pratiquée. Ce sera l'objet de la première partie.

PREMIERE PARTIE :

MILIEU NATUREL ET MILIEU CULTIVE

INTRODUCTION

Les limites, en deçà desquelles ont été conduites nos études, sont présentées sur la figure n° 1. Elles circonscrivent un territoire de 188 000 km², soit 58 % de la surface de la Côte d'Ivoire, qui constitue le domaine géographique où intervient la Compagnie Ivoirienne pour le Développement du Textile (C.I.D.T.).

Cette Société mixte, dont le capital est détenu en majorité par l'Etat Ivoirien, est chargée de l'encadrement des paysans de la vaste région ainsi délimitée : une tâche qui concerne une population rurale de 3,5 millions d'habitants, se répartissant dans plus de 3000 villages.

Les limites géographiques de la région étudiée

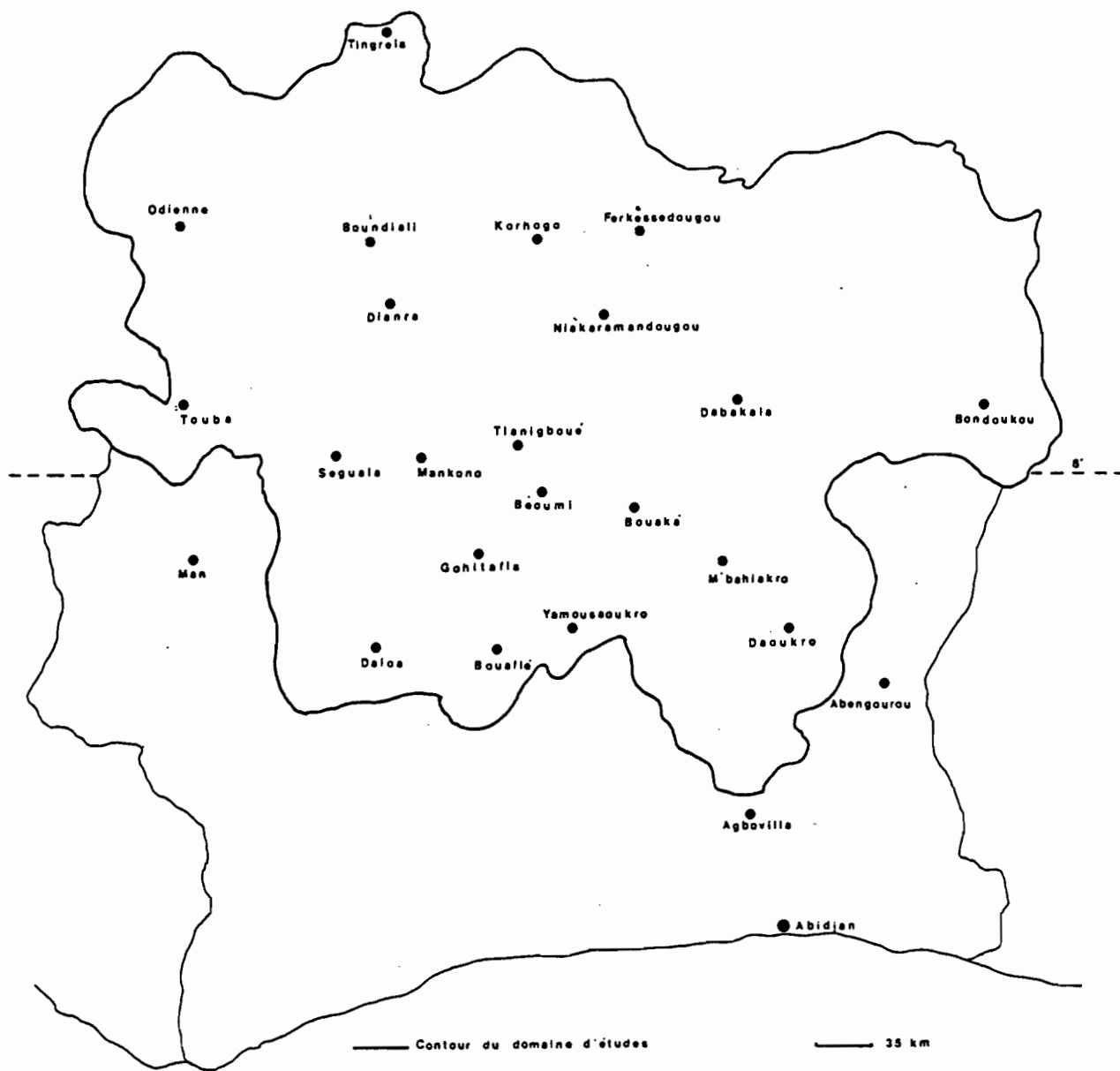


Figure n° 1

CHAPITRE 1

LE MILIEU NATUREL

Introduction

Parmi les multiples descriptions permettant de caractériser l'environnement abiotique et biotique d'un territoire de 188 000 km², nous en retiendrons deux, qui sont en général les plus intéressantes pour l'entomologiste en milieu tropical :

Le milieu abiotique sera mis en lumière par l'aspect climatique, et, en particulier, par la pluviométrie, facteur essentiel dans le domaine agricole et entomologique ; le milieu biotique sera caractérisé par le découpage phytogéographique de la zone, tel qu'il a été décrit dans "Le Milieu Naturel de Côte d'Ivoire" par J.L. Guillaumet et E. Adjanohoun (1971).

1. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

1.1 . Considérations générales

Le climat observé en Côte d'Ivoire résulte des déplacements d'une zone de confluence de deux masses d'air d'humidité différente, l'une sèche, d'origine continentale, l'autre, humide, d'origine océanique. Cette zone de confluence est appelée couramment le Front intertropical (F.I.T.). En son sein, la convergence des deux masses d'air produit une ascendance de l'air avec formation de nuages. Le FIT, qui se déplace selon un axe nord-sud en fonction des mouvements de la dépression thermique saharienne, détermine les zones climatiques qui caractérisent la Côte d'Ivoire : ces zones ont été représentées sur la figure n° 3, redessinée d'après un document de l'ASECNA (Association pour la sécurité de la Navigation aérienne).

Trois zones climatiques sont rencontrées dans notre domaine d'études : la zone climatique sud ou zone à quatre saisons, tout d'abord. C'est une région où l'on observe deux saisons des pluies : la plus intense et la plus longue présente un maximum en juin, la plus courte est centrée sur octobre. Elles sont séparées par une petite "saison sèche" (qualificatif impropre dans la mesure où cette saison est très humide : il faudrait parler en fait de "saison peu pluvieuse") en août-septembre, et d'autre part par une grande saison sèche (proprement dite cette fois) qui dure de décembre à février en général. Ensuite, au nord d'une ligne passant légèrement au sud de Niakara et Dianra, mais remontant plus en latitude dans l'est du pays, la zone climatique nord est caractérisée par une seule saison sèche durant de 6 à 8 mois (octobre à mai) et une saison des pluies ayant son maximum d'intensité en août. Enfin, entre ces deux régions à faciès climatique régulier, on trouve une zone de transition dont le climat variera en fonction de l'importance de la remontée du FIT : lorsque le FIT remontera suffisamment haut en latitude, on observera quatre saisons dans l'année ; dans le cas contraire, deux saisons se succéderont dans l'année. Cette région centre est donc une zone de climat très irrégulier, mal défini, où la prévision s'avère très difficile : on peut y observer une série de petites périodes sèches et humides se succédant de façon aléatoire, ou bien parfois un "faux départ" de la saison des pluies, avec une petite saison des pluies précoce et de courte durée, ou encore l'apparition aléatoire d'une petite période sèche au sein de la saison des pluies.

L'Agriculture s'avère donc très délicate en région centre. Le maïs en particulier, excessivement sensible à la sécheresse à certains moments de son cycle, peut être parfois très affecté dans cette zone. Nous aurons l'occasion de voir au cours de cette étude, quelques exemples qui illustreront de façon assez éloquente cette relation climat-plante.

Les mouvements du FIT ne sont toutefois pas les seuls facteurs explicatifs de la distribution des pluies. La figure n° 2 des isohyètes moyennes annuelles permet d'illustrer deux aspects du climat qui ne s'expliquent pas par les seuls déplacements du FIT : tout d'abord, à latitude égale, il pleut beaucoup plus à l'ouest de la Côte d'Ivoire qu'à l'est. Ensuite, on constate, dans la région de Bouaké-Yamoussoukro, une pluviométrie faible, équivalente à celle que l'on retrouve nettement plus au nord. Enfin, à ces deux éléments vient s'ajouter un troisième, qui est une diminution de la pluviométrie annuelle lorsque, s'éloignant de la mer, on progresse vers le nord du pays.

Ces diverses lignes du facies climatique s'expliquent en fait par le relief du pays : à latitude égale, il pleut d'autant plus que le relief est plus accentué. L'ouest du pays, montagneux, est ainsi nettement plus arrosé que l'est. La réduction de la pluviométrie lorsqu'on progresse vers le nord-est est attribuée à l'affaiblissement de l'influence de la mousson, qui perd de son humidité par condensations successives lorsqu'elle pénètre dans les terres.

C'est le relief enfin, qui provoque la sécheresse relative de la région de Bouaké - Yamoussoukro, que l'on a surnommé le V Baoulé, en raison de la forme du contour qu'elle dessine sur une carte (voir carte n° 8 de la végétation), et de l'ethnie qui y demeure.

Les vents humides du sud-ouest perdent, en effet, leur humidité par des précipitations successives au-dessus des plateaux de 200 à 300 m d'altitude qu'ils traversent avant de parvenir au V baoulé.

Il s'agit toutefois d'une hypothèse retenue par l'auteur du chapitre "climat" du "milieu naturel de la Côte d'Ivoire", M. Eldin.

Isohyetes moyennes annuelles

(Cotées en mm)

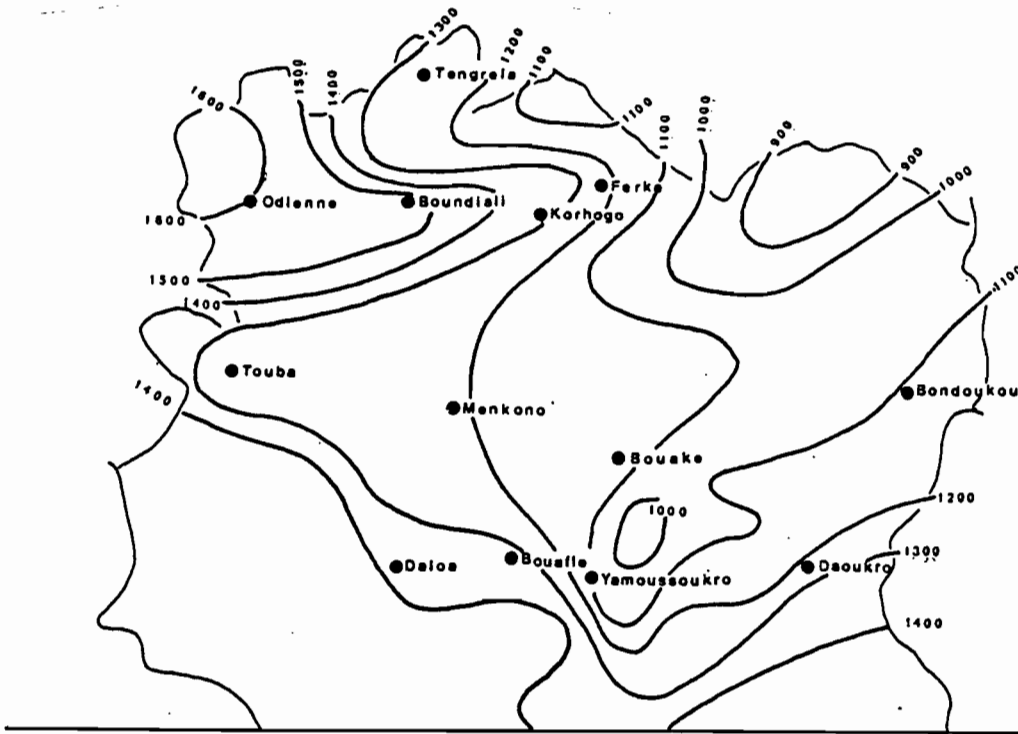


Figure n° 2

Zones climatiques

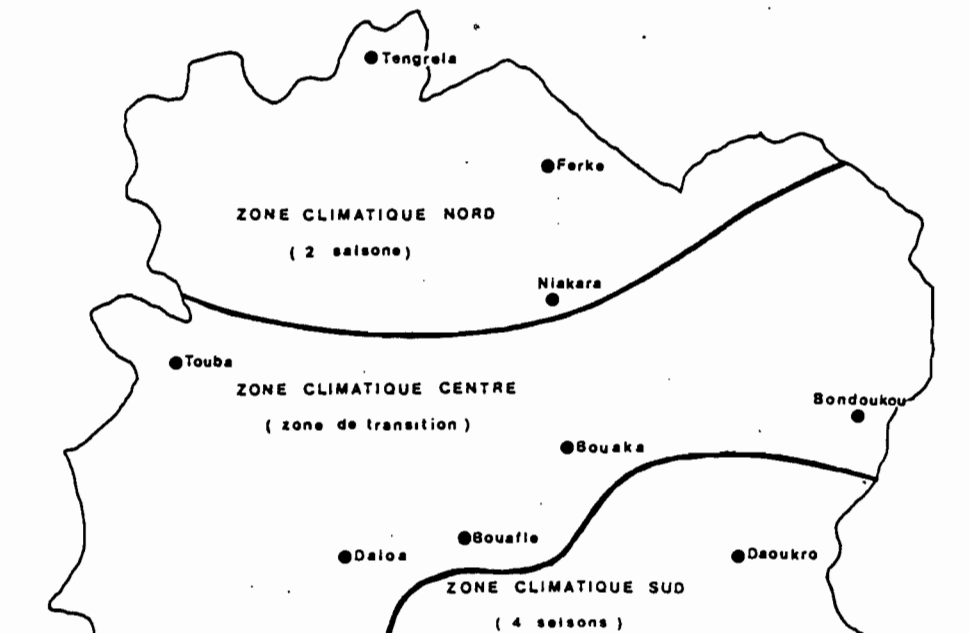


Figure n° 3

Cette hypothèse est controversée, et il cite d'autres théories qui ont été avancées en vue d'expliquer le V baoulé, qui pourrait avoir son origine dans des mouvements de circulation atmosphérique à beaucoup plus grande échelle, ou bien serait la conséquence à la fois d'un paléoclimat sec et de l'activité humaine de défrichements et de feux de brousse.

Quelque soit l'origine du V baoulé, c'est une région très particulière de la Côte d'Ivoire, du point de vue climatique comme du point de vue botanique (voir chap. 1 - paragraphe 2). Tant au niveau agricole qu'au niveau de l'écologie entomologique, il faut en tenir compte.

1.2. Régime pluviométrique des dernières années

La région où nous avons mené notre étude a connu, au cours du dernier lustre, une période de sécheresse importante. Dès 1980 dans le Nord, depuis 1981 dans le centre, la pluviométrie est inférieure à la moyenne calculée sur 25 ans (figure n° 4). Le volume de pluies annuelles a décru régulièrement, atteignant en 1983 un minimum particulièrement faible en région centre, dans ce V baoulé que nous décrivions précédemment.

L'observation des pluviométries mensuelles de 1982 à 1984 (figures 5 à 7) permet de constater combien l'année 1983 a pu être catastrophique pour les cultures dans le V baoulé. A Bouaké, par exemple, des pluies, en février, permettent la mise en place des cultures, que le mois de mars, totalement sec, anéantira. La seconde saison de pluies, avec essentiellement deux mois arrosés de façon médiocre (août et septembre), ne permettra pas non plus une production de vivriers en culture pluviale. Il n'y a pratiquement pas eu dans cette zone de seconde saison des pluies en 1983, et la première saison, trop peu arrosée, et de façon trop hétérogène, ne fut guère favorable aux cultures.

L'année 1984 a mis un terme à cette période sèche, au moins pour la zone centre. Cette année-là, la pluviométrie en région centre fut équivalente ou supérieure à la moyenne des vingt-cinq dernières années. Dans le Nord, la pluviométrie est restée inférieure à la moyenne, mais nettement meilleure qu'en 1983.

Evolution des pluviometries annuelles

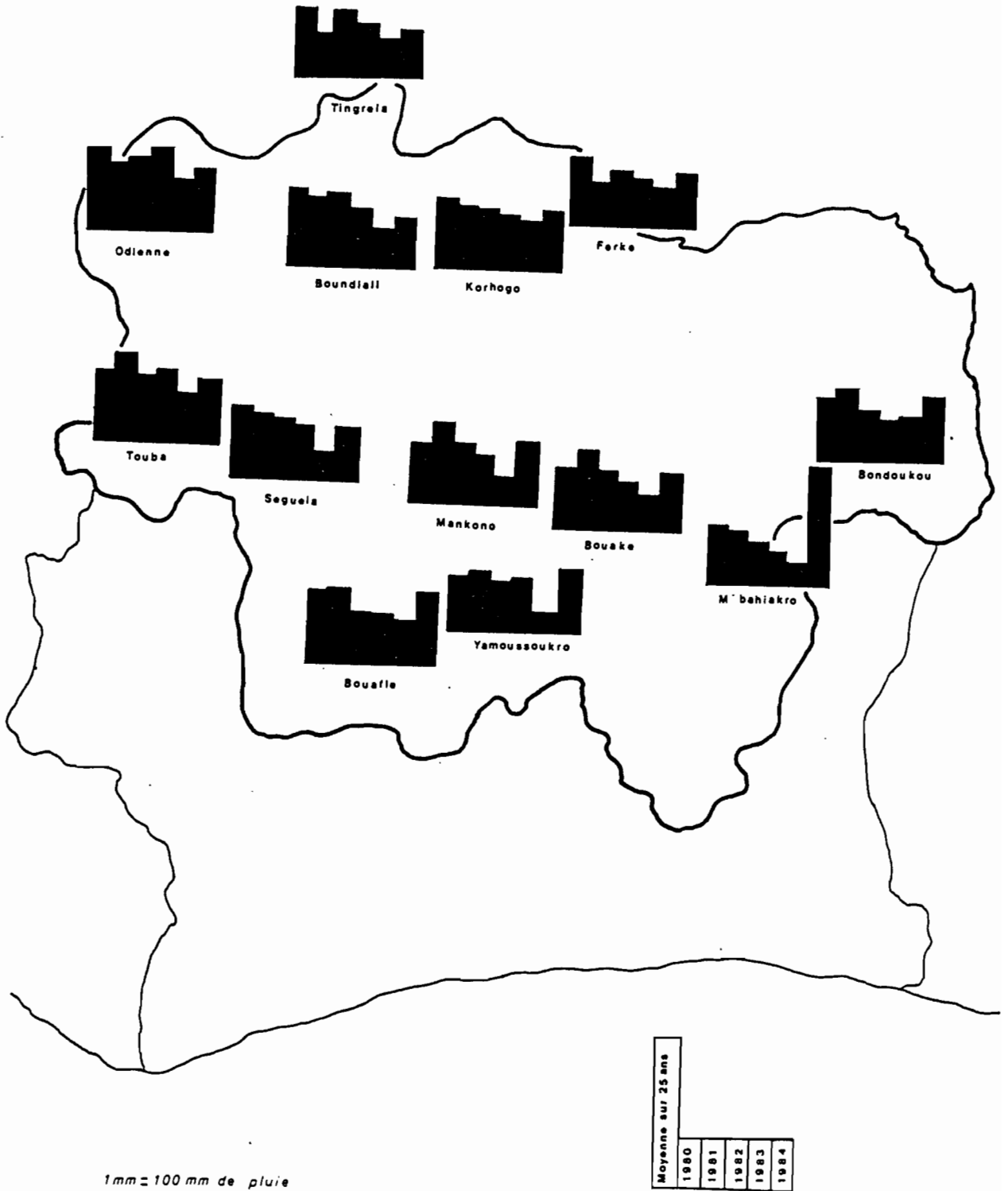


Figure n° 4

Zone CIDT

Pluviométrie mensuelle

Année 1982

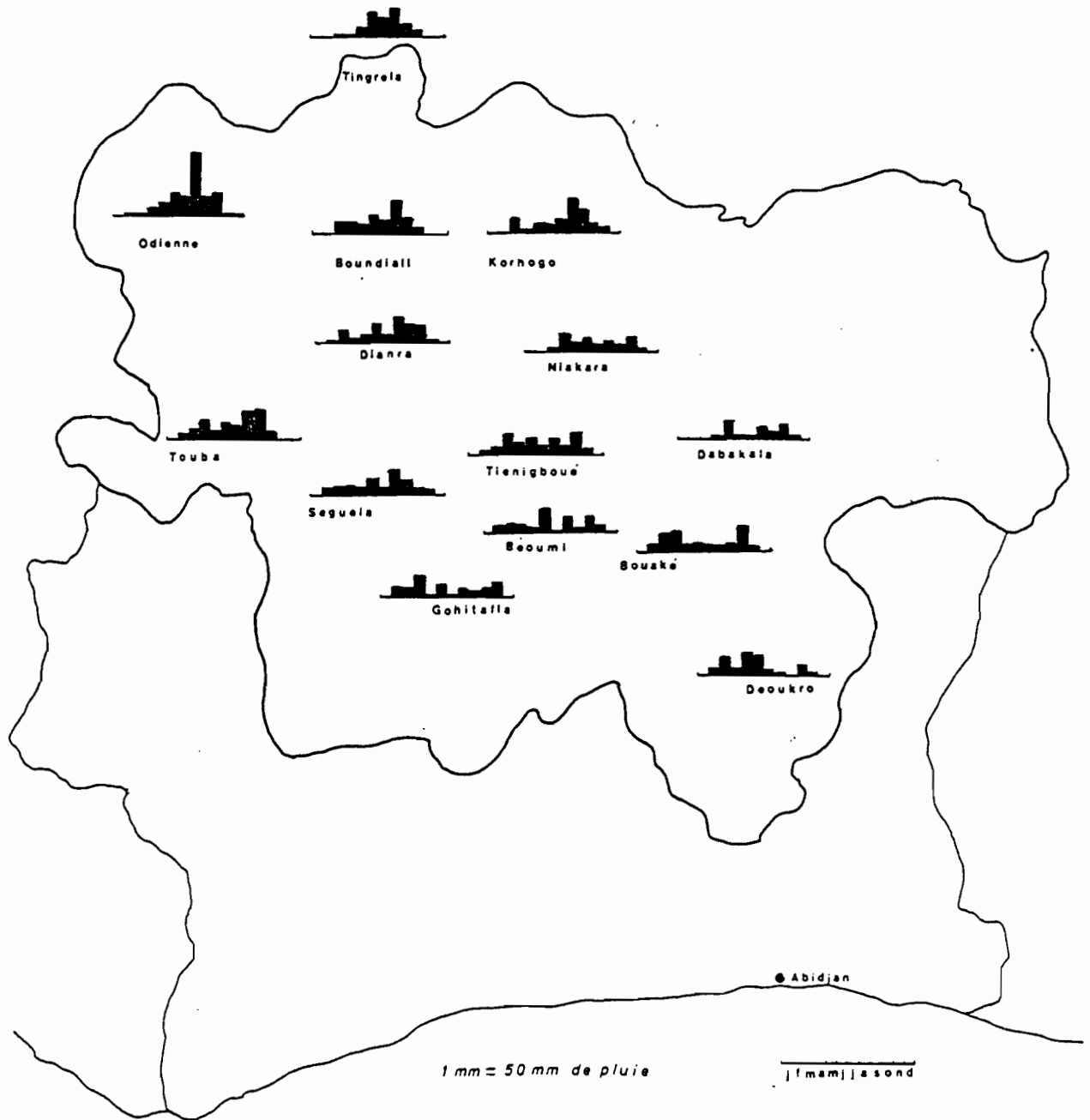


Figure n° 5

Zone CIDT

Pluviométrie mensuelle

Année 1983

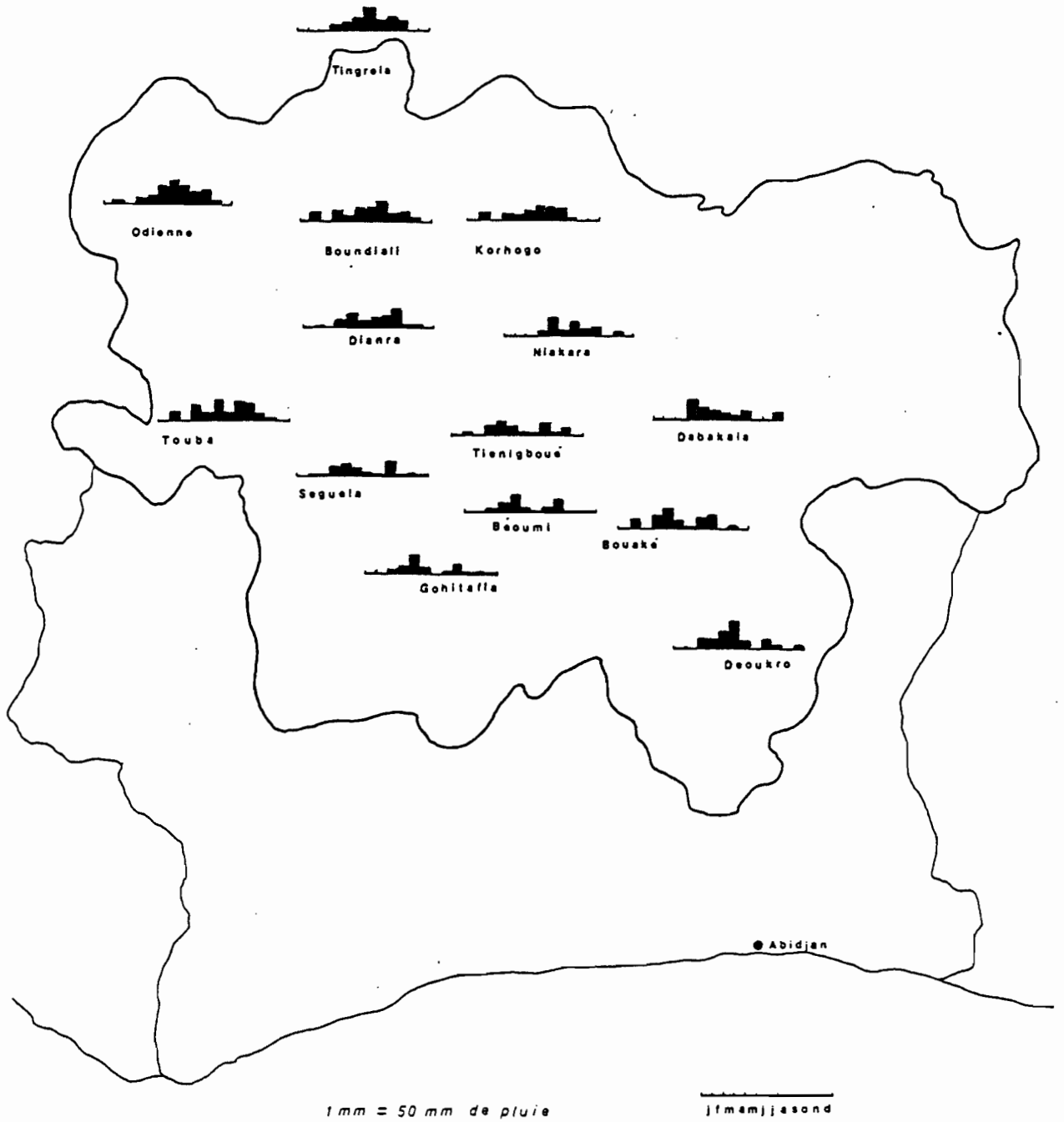


Figure n°6

Zone CIDT

Pluviométrie mensuelle

Année 1984

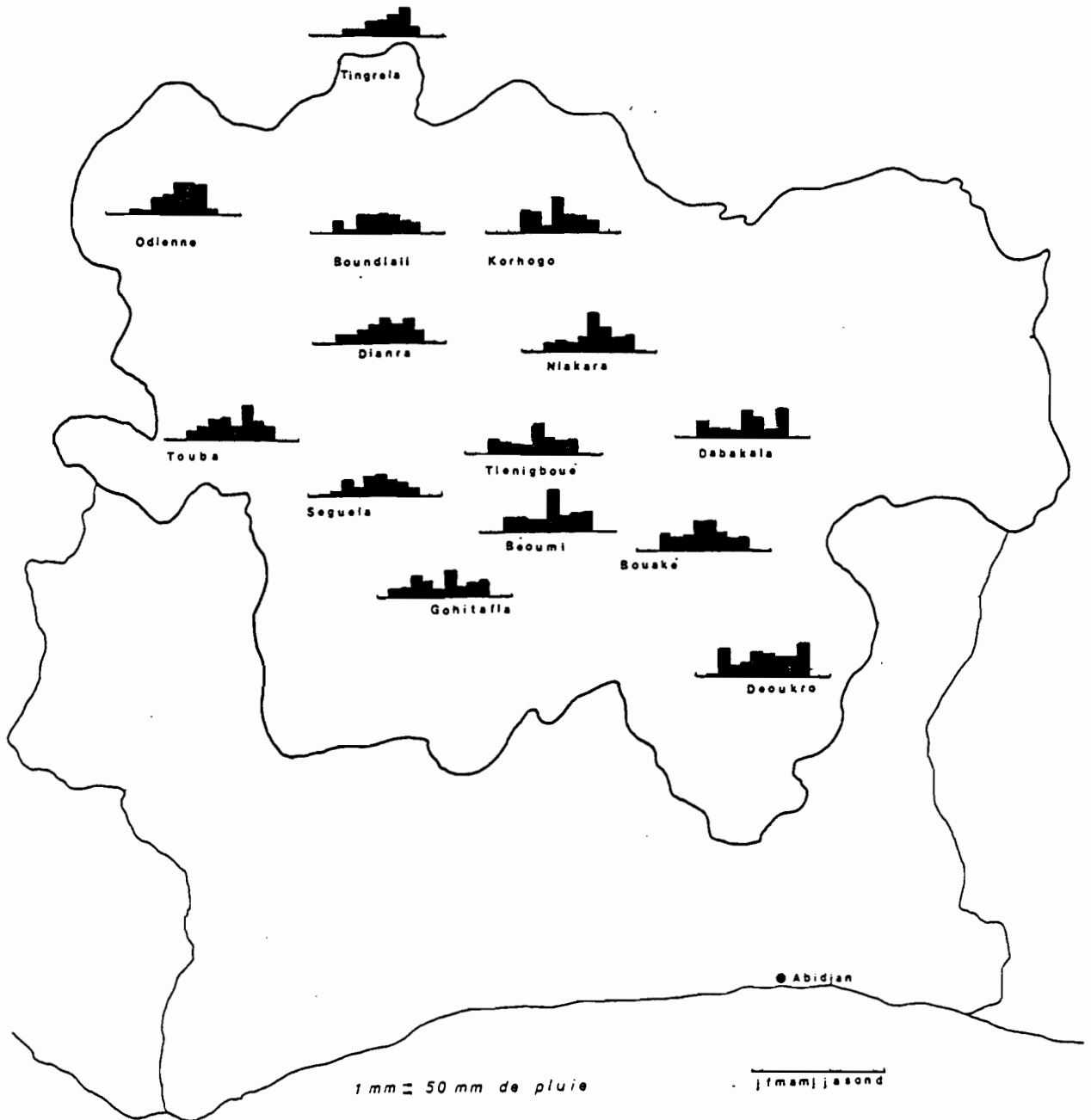


Figure n° 7

1984 fut, dans l'ensemble, une bonne année agricole. La récolte de coton a dépassé le niveau historique des 200 000 tonnes, qui a propulsé la Côte d'Ivoire au premier rang, pour le rendement, des pays d'Afrique de l'Ouest et Centrale.

Le V baoulé fut bien arrosé, avec pratiquement une seule saison des pluies, continue de mars à octobre à Bouaké et Béoumi. Au nord, par contre, la pluviométrie fut parfois irrégulière, comme à Korhogo, où le mois de juin faiblement et irrégulièrement arrosé, a détruit bien des semis.

Les dernières années ont donc présenté des faciès climatiques très variés : 1982, assez typique, avec une saison des pluies bien marquée dans le nord ; avec une zone Centre à pluviométrie en dents de scie, et une deuxième saison tardive (pic en octobre - novembre). 1983, année sèche, très hétérogène, totalement atypique ; 1984, année pluvieuse en zone centre avec certains lieux où l'on ne distingue qu'une saison des pluies, d'autres, plus à l'ouest, où les deux saisons sont bien marquées ; et avec, dans le nord, des pluies relativement hétérogènes (Korhogo), ou assez tardives (pic à Tengrela en Septembre).

2. CARACTERISTIQUES BOTANIQUES

Le paysage botanique, à l'image du faciès climatique, se révèle très varié du nord au sud de notre domaine d'étude. Depuis le secteur soudanais au septentrion, jusqu'au secteur mésophile du domaine guinéen au midi, on parcourt la savane, ou plutôt les savanes ivoiriennes (figure n° 8). Car, même au niveau du secteur mésophile, dont le climax est toutefois la forêt dense humide semi-décidue, une grande partie de la surface est occupée par la savane. On peut donc qualifier ce vaste ensemble de "zone des savanes de Côte d'Ivoire", tout en gardant à l'esprit que le sud du territoire est une zone où la forêt prend le pas sur la savane.

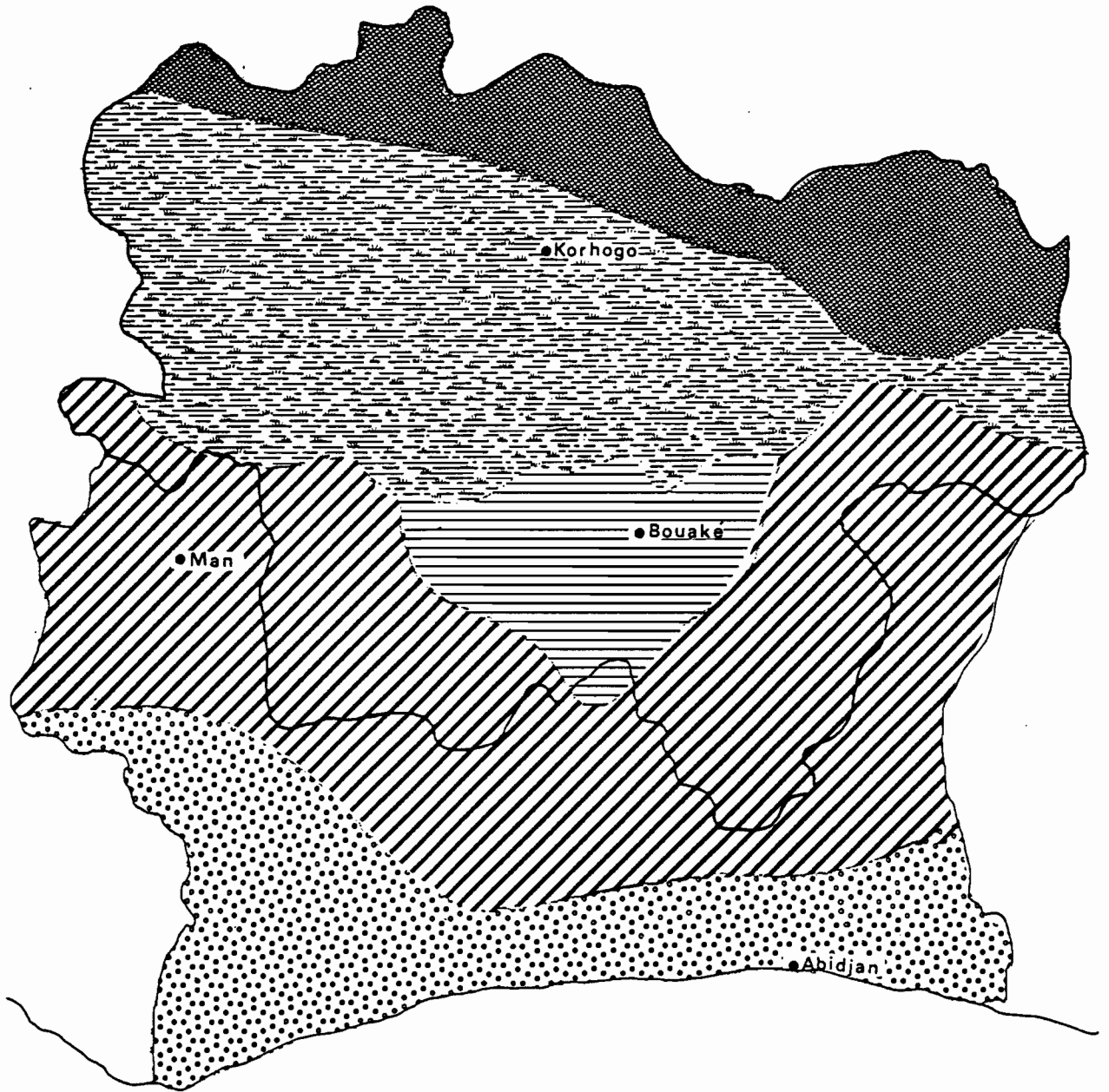
La comparaison des figures 2 et 8 montre à quel point le régime pluviométrique est un facteur-clef dans l'écologie de cette région, où les limites des divers secteurs botaniques suivent parfaitement le dessin des isohyètes. Le peuplement végétal du V baoulé, par exemple, tranche nettement avec celui du secteur mésophile environnant et dont il fait partie. D'autres facteurs, toutefois, viennent interférer avec la pluviométrie pour délimiter les diverses formations végétales : ainsi, à l'est du V baoulé, la frontière forêt-savane est plus nette et correspond au passage du sol granitique, sous savane, au sol schisteux, sous forêt. L'action conjointe des facteurs édaphiques et climatiques conduit donc à une distribution phytogéographique qui permet de distinguer le domaine soudanais, se situant approximativement au nord du 8^e parallèle et le domaine guinéen, au sud de ce parallèle, représenté seulement par le secteur mésophile dans notre zone d'étude (figure n° 8).

2.1. Le domaine soudanais

Au sein du domaine soudanais, deux formations végétales peuvent être définies : la plus importante en superficie, dans notre zone, correspond au secteur sub-soudanais, alors que l'extrême nord appartient au secteur soudanais. En fait, ces deux formations végétales sont physionomiquement très comparables : leur frontière est peu tranchée et se caractérise essentiellement par la limite sud de certaines espèces strictement soudaniennes. Le secteur sub-soudanais se distingue en outre par une flore plus pauvre, et la présence de forêt dense sèche, mais dans l'ensemble on retrouve les mêmes groupements végétaux dominants. On y rencontre des forêts claires, des savanes et des boisements denses.

Figure n°8

VEGETATION de la COTE d'IVOIRE



Domaine Soudanais

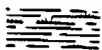


Secteur Soudanais

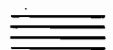
Domaine Guinéen



Secteur Mésophile



Secteur Sub-Soudanais



V Baoulé



Limite CIDT



Secteur Ombrophile

La forêt claire est constituée essentiellement de deux strates : une strate arborescente à petits arbres (8 - 15m de haut), portant de petites feuilles sèches comme par exemple Isoberlinia doka, Uapaca togoensis, Daniella oliveri ; et une strate herbacée avec Andropogon tectorum, Beckeropsis uniseta.

La savane se développant sur sol drainé est dominée par le groupement à Panicum phragmitoides, que l'on retrouvera dans tous les types de savanes de la zone. Ce groupement s'enrichit ici, par rapport aux savanes plus méridionales, d'espèces plus héliophiles herbacées telles que Cymbopogon proximus ou Setaria sphacelata. Les espèces caractéristiques de ce groupement sont Panicum phragmitoides, Digitaria uniglumes, Lophira lanceolata, Daniella oliveri.

On rencontre enfin, dans le domaine soudanais, des boisements denses, îlots forestiers ou forêts-galeries, peu différents de ceux que l'on trouve en zone préforestière des savanes guinéennes : les principales espèces constituant la strate arborescente sont le fromager, Ceiba pentandra, l'iroko, Chlorophora excelsa, ainsi que Cola cordifolia, Anogeissus leiocarpus, Antiaris africana. Sous ces grands arbres, qui peuvent atteindre 30 mètres de haut, on trouve une seconde strate arborée se situant entre 8 et 15 mètres avec Blichia sapida, Sterculia traqacantha. Enfin, le sous-bois clair, pratiquement sans graminées, est dominé par des géophytes (Anchomanes spp), des lianes (Strophantus spp ou Dioscorea spp, Landolphia spp) ou des nanophanérophytes comme Uvaria chamae.

Le domaine soudanais est, d'autre part, marqué par la présence d'Imperata cylindrica, espèce caractéristique des savanes plus dégradées et de celles où s'est exercée l'activité humaine.

Le climax du domaine soudanais est la forêt claire. La savane de ce domaine, si elle est intégralement protégée, évoluera vers la forêt claire. C'est un élément qui distingue nettement ce domaine du secteur mésophile guinéen, où la savane protégée évoluera vers la forêt dense de type semi-décidu.

2.2. Le domaine guinéen

Le secteur mésophile du domaine guinéen regroupe une zone forestière, et une zone préforestière où les savanes, de type guinéen, prennent le pas sur la forêt.

La zone forestière, de type semi-décidu, est caractérisée fondamentalement, par la présence de Celtis spp, Triplochiton scleroxylon et Mansonia altissima. Au sud, une variante à Nesogordonia papaverifera et Khaya ivorensis constitue un peuplement de transition avec la forêt sempervirente. Au nord, la lisière avec les bosquets de savane de la zone préforestière est dominée par Aubrevillea kerstinii et Khaya grandifolia.

La zone préforestière du secteur mésophile se compose de boisements denses et de zones de savane. La strate arborescente supérieure des galeries forestières est souvent dominée par Cola cordifolia, auquel s'ajoutent des essences déjà rencontrées dans les forêts-galeries du domaine soudanais : Ceiba pentandra, Chlorophora excelsa et C. regia, Triplochiton scleroxylon. Des espèces typiques des forêts denses semi-décidues telles que Celtis brownei s'y observent également fréquemment. A un niveau inférieur, Sterculia traqacantha, Antiaris africana, puis un sous-bois où les épiphytes sont très rares, constituent les autres strates de ces galeries forestières.

Les savanes guinéennes, sur sol drainé, présentent quatre types physiologiques : on y trouve la "savane à ronniers", qui occupe toute la poche du V baoulé ; elle est caractérisée par le groupement à Loudetia simplex dont les espèces différentielles sont Loudetia simplex, Brachiaria brachylopha et Borassus aethiopicum. On rencontre également la "savane arborée", avec le groupement à Panicum phragmitoides, déjà observé plus au nord ; puis des "savanes arbustives" avec, suivant les types de sol, le groupement à Andropogon macrophyllus, localisé essentiellement dans la région de Man-Touba, et le groupement à Loudetia arundinacea, plus au centre. Enfin, ici et là, apparaissent des savanes herbeuses, d'origine post-culturelles, qui sont caractérisées par des groupements à Loudetia hordeiformis, Pennisetum purpureum ou Imperata cylindrica, dans lesquels ces espèces sont exclusives ou prédominantes.

La flore de ces savanes présente cette particularité qu'aucune espèce ne leur est propre : certaines espèces, provenant du sud, appartiennent à la flore des forêts denses, certaines sont originaires des forêts claires du nord, les autres se retrouvent dans une très large zone climatique. Ce rassemblement original d'espèces de provenances différentes est le caractère essentiel de la flore des savanes guinéennes.

CHAPITRE 2

LE MILIEU CULTIVE

1. Considérations générales

L'assolement de la plupart des exploitations paysannes de la zone des savanes de Côte d'Ivoire est composé de deux grands groupes de cultures : les cultures vivrières, d'une part, destinées pour l'essentiel à l'autoconsommation, et la culture cotonnière, d'autre part, qui est la principale culture de rente.

Sur le plan économique, des différences importantes existent entre ces cultures, non seulement au niveau de l'utilisation de la récolte (consommation ou vente), mais au niveau de l'ensemble de la "filière" conduisant de la fourniture d'intrants à la commercialisation.

La culture cotonnière bénéficie, depuis plus de vingt ans, d'un encadrement technique poussé mis en place par la Compagnie Française des Textiles (C.F.D.T), qui sera ensuite relayée par la C.I.D.T. La société d'encadrement fournit le conseil technique, les divers intrants, le matériel de traitement, et se charge de la commercialisation. Le prix du coton est garanti par la société de développement. Le paysan est donc assuré de pouvoir vendre sa récolte, à un prix préalablement fixé.

Toutes les surfaces cotonnières existantes sont encadrées, et le paysan ne bénéficie de cet encadrement que s'il respecte les consignes techniques données : culture pure, densité à l'hectare, rythme des traitements phytosanitaires, sarclage...

Les conditions sont différentes pour les cultures vivrières. A l'exception du riz, dont le prix de vente est officiellement fixé, les autres spéculations obéissent à la loi de l'offre et de la demande. Les besoins du marché sont très

fluctuants et le paysan n'est absolument pas sûr de pouvoir commercialiser sa récolte à un prix satisfaisant. La société de développement ne se charge pas de la commercialisation, et n'encadre qu'une partie restreinte des surfaces emblavées. Si le paysan souhaite utiliser des produits de traitement, ils sont à sa charge, alors que les insecticides, par exemple, sont fournis gratuitement sur cotonnier.

Ces divers éléments expliquent pourquoi, en Côte d'Ivoire, le développement des cultures vivrières accuse un certain retard vis à vis de celui du cotonnier. Cette situation est toutefois appelée à évoluer au profit des cultures vivrières : en effet, les autorités politiques ont pris conscience du problème, et ont lancé un vaste mouvement destiné à promouvoir l'autosuffisance alimentaire. Un ministère du développement rural vient d'être créé, chargé de mettre en oeuvre une politique visant à donner un nouvel élan aux cultures vivrières et à réduire la part que représentent les importations de vivriers dans la balance commerciale du pays.

2. La culture du maïs dans la zone des savanes

Dans le cadre de la politique d'autosuffisance alimentaire, le développement de la culture du maïs apparaît essentiel. L'amélioration de cette culture fait partie des objectifs prioritaires de la Compagnie Ivoirienne pour le Développement du Textile, qui encadre les paysans de la zone des savanes : les surfaces encadrées en maïs arrivent en seconde position, derrière le cotonnier (tableau n° 1), et ont connu une augmentation de 27,4 % pendant la campagne 1983/84.

Importante par les superficies encadrées, la culture du maïs l'est également par le nombre de paysans qui la pratiquent : ainsi, en 1983, 49129 paysans étaient encadrés pour la culture du maïs, contre 93519 pour le cotonnier, 33012 pour l'arachide, 36951 pour le riz et 978 pour le soja.

En fait, derrière l'expression "la culture de maïs", se cachent des situations culturelles très variées, suivant le type d'exploitation, l'époque de culture, le niveau d'intensification atteint. Il importe, pour bien situer le problème que posent les foreurs du maïs, de décrire sommairement les divers cadres dans lesquels peut se rencontrer la culture du maïs, et le niveau de technicité auquel sont parvenus les paysans.

2.1. Culture du maïs et mode d'exploitation

Les maiziculteurs de la zone des savanes pratiquent en majorité la culture manuelle (tableau n° 2) : 70 % des surfaces en maïs sont cultivées manuellement, donc dans de petites exploitations de 2 à 3 hectares. La superficie moyenne semée en maïs par ces paysans est de 1,05 ha. D'un niveau de technicité supérieur, les paysans en culture attelée possèdent des exploitations de 5 à 10 hectares sur lesquelles se trouve 25,3 % de la superficie emblavée en maïs. Près de 9000 cultivateurs, localisés à plus de 90 % dans le nord de la zone, possèdent en moyenne 1,65 ha de maïs.

Les paysans les plus modernes, et possédant les plus grandes superficies utilisent la traction motorisée : la C.I.D.T a cherché à promouvoir la "motorisation intermédiaire", basée sur des petits tracteurs d'une vingtaine de chevaux pour des exploitations de 20 à 30 ha. Les paysans cultivant le maïs dans ce type d'exploitation sèment en moyenne 4 ha ; ils représentent 3,3 % des surfaces en maïs de la zone. Enfin, les fermes de 50 ha et au-delà utilisent la motorisation conventionnelle ; elles totalisent 1,4 % de la superficie en maïs, avec une moyenne de 2,3 ha par maiziculteur.

2.2. Les cycles de culture du maïs

La zone climatique nord (figure n° 3), avec une seule saison des pluies dans l'année, ne permet de mettre en place qu'un seul cycle de maïs : le semis a lieu vers la fin du mois de mai et la récolte se situe vers la fin septembre. En zone climatique centre, la répartition de la pluviométrie autorise des semis à diverses périodes : en début mars peut être semé ce qu'on appelle "l'avant culture" ou le "premier cycle", par comparaison avec le "cycle principal" qui y succède, et qui, en règle générale, est en cotonnier. Ce premier cycle correspond à la première saison des pluies. On rencontre également dans cette région un "cycle unique", semé en juin, et enfin, un second cycle, calé sur la deuxième saison des pluies, avec semis en juillet.

Le tableau n° 3 situe l'importance des divers cycles suivant les secteurs. On peut y observer que le premier cycle est toujours prédominant dans le centre, mais que plus l'on se rapproche du centre-ouest, plus les cycles s'équilibrent : ainsi, à Séguéla, premier cycle, d'une part, et cycles plus tardifs, d'autre part, sont peu différents en surface (52,5 % des surfaces pour le premier cycle en moyenne depuis 1980 contre 47,5 % pour les autres cycles) ; mais dès que l'on arrive à Mankono et plus au centre, le premier cycle prédomine nettement. Il y a à cela deux raisons essentielles : le cycle unique ou deuxième cycle est la période de culture du cotonnier ; le paysan préfère donc placer le maïs en avant-culture, ce qui lui permet de ne défricher ou préparer qu'une seule parcelle, et à un moment où l'enherbement n'est pas trop important puisque l'on sort de la saison sèche. La deuxième raison qu'avancent les paysans est le problème parasitaire : les attaques d'insectes sont beaucoup plus virulentes en cycle unique, ainsi que nous le verrons.

Ces arguments, toutefois, ne tiennent que les bonnes années. Lorsque, par malheur, le premier cycle échoue en raison d'une pluviométrie défavorable, le paysan resème un cycle unique ou un second cycle : c'est très net en 1983, année très sèche comme on l'a vu (chapitre 1), où, en zone centre, le premier cycle ne représente que 61 % des surfaces alors que sur les trois années précédentes il atteignait en moyenne 94 %.

Enfin, dans la partie sud-est de notre région d'étude, qui appartient à la zone climatique sud, la situation est comparable à la zone à deux saisons des pluies (cette région sud-est est d'ailleurs comptabilisée au niveau de "l'unité Agricole Centre" dans le tableau n° 3, puisqu'elle dépend du secteur CIDT de Bouaké).

2.3. Le niveau d'intensification

Hormis le cas où les insectes interdisent totalement une culture, les paysans et les encadreurs ne commencent souvent à prendre vraiment conscience du problème "insecte" qu'au moment où l'exploitant, ayant atteint un certain niveau de technicité, désire intensifier sa culture. L'intensification consiste à respecter

certaines règles de culture, et à améliorer les intrants, tant qualitativement que quantitativement. En pratique, au niveau de la C.I.D.T., cela se traduit par une culture pure, le respect d'une densité de semis, l'utilisation d'engrais, d'herbicides éventuellement, de semences sélectionnées...

Dans le cas où des études ont révélé un problème insecte, des insecticides peuvent être employés : c'est le cas sur cotonnier et sur riz.

En ce qui concerne la culture du maïs, l'intensification au niveau des intrants n'a porté, pour l'instant, que sur les engrais, les herbicides et le choix de variétés sélectionnées.

2.3.1. Engrais et herbicides

Le tableau n° 4 situe, pour la campagne 1983-84, le niveau d'intensification atteint pour la culture du maïs.

Le pourcentage des surfaces encadrées qui sont fumées ou traitées à l'herbicide est globalement faible : 16,5 % des superficies de maïs encadrées reçoivent de l'engrais de fond (NPK - 10-18-18), 12 % de l'urée, et 7,6 % seulement de l'herbicide. Encore faut-il noter la disparité impressionnante entre le nord de la zone d'une part, l'ouest et le centre, d'autre part. Le nord est en fait la seule région où les paysans commencent à intensifier réellement la culture du maïs, avec 30 % des surfaces encadrées enrichies à l'engrais de fond, 21,5 % recevant de l'urée, et 14,2% de l'herbicide. Dans l'ouest, les pourcentages sont très faibles, et peu différents de zéro dans le Centre.

2.3.2. Variétés sélectionnées

La Recherche a mis au point diverses variétés sélectionnées : dans le tableau n° 5 nous avons indiqué les caractéristiques principales de celles qui sont vulgarisées ou que nous avons testées dans nos essais.

L'utilisation de semences sélectionnées au niveau paysannal est aujourd'hui très répandue ; en effet, dans le cadre de la politique d'autosuffisance alimentaire, le gouvernement ivoirien a décrété, en 1983, la gratuité des semences

Tableau n° 1

EVOLUTION DES SUPERFICIES ENCADREES PAR LA COMPAGNIE IVOIRIENNE DES TEXTILES
(en hectares)

COTON :

Unité Agricole	1981/82	1982/83	1983/84	Progression % 83/84 - 82/83
Unité Agricole NORD	65 414	63 711	65 628	+ 3,0
Unité Agricole OUEST	34 974	36 464	37 899	+ 3,9
Unité Agricole CENTRE	24 221	28 209	32 826	+ 16,4
C.I.D.T.	124 609	128 384	136 353	+ 6,2 %

MAIS

Unité Agricole NORD	25 383	21 285	29 824	+ 40,1
Unité Agricole OUEST	11 178	11 148	11 687	+ 4,8
Unité Agricole CENTRE	11 800	13 589	17 120	+ 26,0
C.I.D.T.	48 361	46 022	58 631	+ 27,4 %

ARACHIDE

Unité Agricole NORD	11 827	11 988	12 781	+ 6,6
Unité Agricole OUEST	9 147	9 123	8 345	+ 8,5
Unité Agricole CENTRE	3 703	4 547	5 055	+ 11,2
C.I.D.T.	24 677	25 658	26 181	+ 2,0 %

RIZ PLUVIAL - INONDE

Unité Agricole NORD	12 390	11 108	13 902	+ 25,1
Unité Agricole OUEST	14 610	13 952	16 384	+ 17,4
Unité Agricole CENTRE	784	970	2 554	+ 163,3
C.I.D.T.	27 784	26 030	32 840	+ 26,2 %

RIZ IRRIGUE

Unité Agricole NORD	5 044	4 832	5 557	+ 15,0
Unité Agricole OUEST	374	429	415	- 3,3
Unité Agricole CENTRE	1 517	1 338	1 855	+ 38,6
C.I.D.T.	6 965	6 599	7 827	+ 18,6 %

SOJA

Unité Agricole NORD	311	211	289	+ 36,9
Unité Agricole OUEST	323	225	197	+ 12,4
Unité Agricole CENTRE	145	53	57	+ 7,5
C.I.D.T.	779	489	543	+ 11,0 %

TOTAL ENCADRE	233 175	233 182	262 375	+ 12,5 %
---------------	---------	---------	---------	----------

Tableau n° 2

SURFACES ET PLANTEURS DE MAIS ENCADRES EN 1983
SELON LES MODES DE CULTURE DANS LA ZONE D'ETUDE

	Culture manuelle		Culture attelée		Motorisation intermédiaire		Motorisation conventionnelle		Total	
	ha	pl	ha	pl	ha	pl	ha	pl	ha	pl
Unité Agricole OUEST	9921,5	10368	1292,5	726	391	114	82	31	11687	11239
Unité Agricole NORD	15009	14562	13373	8204	1100	184	342	104	29824	23054
Unité Agricole CENTRE	16294,5	14472	183	51	479,5	193	163	120	17120	14836
Total CIOT	41225	39402	14848,5	8981	1970,5	491	587	255	58631	49129

ha : hectares

pl : planteurs

TABLEAU n° 3 : EVOLUTION DES SURFACES DE MAIS ENCADREES

Secteur	1980		1981		1982		1983			
	1er cycle	cycle unique ou 2e cycle	1er cycle	cycle unique ou 2e cycle	1er cycle	cycle unique ou 2e cycle	1er cycle	cycle unique ou 2e cycle		
BOUNDIALI	-	5501,5		12598		11194,5		13505		
KORHOGO	-	4877		7743		5481		7691		
FERKE	-	3362		4428,5		4179,5		6290		
BONDOUKOU	-	200		613		430,5		2338		
TOTAL Unité Agricole NORD		13940,5		25382,5		21285,5		29824		
ODIENNE	-	4654		3358		3891,5		4343		
TOUBA	-	531		226		66,5		65		
SEQUELA	1278	849	1427	1109	1223,5	837,5	927	1599		
MANKONO	4757	876	6211,25	525	5071,75	57,5	813	3940		
TOTAL Unité Agricole OUEST	6035	6910	7638,25	5218	6295,25	4853	1740	9947		
KATIOLA	} 4806	-	} 4289		3443	643	1762	2825		
BOUAKE					563,5	1975	-	2281	801	
BEQUMI					349	169	2643,5	111,5	1849	1289
YAMOOUSSOUKRO				1064	40	512	197	347,5	104	396
BOUAFLE	3618	-	4008	34	4295	26	4129	1603		
TOTAL Unité Agricole CENTRE	9488	40	9158	963,5	12704	884,5	10417	6703		
TOTAL CIDT	15523	20890,5	16796,25	31564	18999,25	27023	12157	46374		
TOTAL cycles confondus	36413,5		48360,25		46022,25		58631			

Tableau n° 4 : INTENSIFICATION PAR MODE DE CULTURE - Maïs -

UNITES AGRICOLES	Mode de culture		N P K		U R E E		HERBICIDE		DOLOMIE	
	Surface (ha) encadrée	%	Surface ha	%	Surface ha	%	Surface ha	%	Surface ha	
UNITE AGRICOLE NORD	CM	15 009	50,3	2 521,5	16,8	1 620	10,8	704,25	4,7	2
	CA	13 373	44,8	5 776,8	43,2	4 347	32,5	2 802,25	21	70,5
	MI	1 100	3,7	584	5,3	400	36,4	585,75	5,3	58,5
	MC	342	1,2	139	40,6	60	17,5	132	38,6	-
	TOTAL	29 824	100	9 021	30	6 427	21,5	4 224,25	14,2	131
UNITE AGRICOLE OUEST	CM	9 921,5	85	238	2,4	339	3,4	35,25	0,4	-
	CA	1 292,5	11	247,5	19,1	289	22,4	21,25	1,6	-
	MI	391	3,3	51,5	13,7	50	12,8	43,25	11	-
	MC	82	0,7	6,5	7,9	3	3,6	3,50	4,3	-
	TOTAL	11 687	100	343,5	4,7	681	5,8	103,25	0,9	-
UNITE AGRICOLE CENTRE	CM	16 294,5	95,2	1,5	-	2	-	44,50	0,3	-
	CA	183	1,1	1,5	0,8	-	-	-	-	-
	MI	479,5	2,8	24,5	5,1	71	14,8	15	3,1	-
	MC	163	0,9	92	56,4	-	-	51,25	31,4	-
	TOTAL	17 120	100	119,5	0,7	73	0,4	110,75	0,6	-
C.I.D.T.	CM	41 225	70,3	2 761	6,7	1 961	4,8	784	1,9	2
	CA	14 849	25,3	6 026	40,6	1 636	31,2	2 823	19	70,5
	MI	1 970	3,4	660	33,5	521	26,4	644	32,7	58,5
	MC	587	1	237	40,4	63	10,7	187	31,8	-
	TOTAL	58 631	100	9 684	16,5	7 181	12,2	4 438	7,6	131

CM : Culture manuelle
CA : Culture attelée
MI : Motorisation intermédiaire
MC : Motorisation conventionnelle

TABLEAU n° 5. CARACTERISTIQUES DES PRINCIPALES VARIETES TESTEES ET VULGARISEES

	Composite D	M T S	C J B	TUXPEN0 n°1	POZA RICA 7429
Origine	Côte d'Ivoire	Côte d'Ivoire	Côte d'Ivoire	Mexique (CINMYT)	Mexique (CIMMYT)
Type	Composite d'ecotypes africains	Variété locale améliorée (issue du Violet de Katiola)	Variété locale améliorée par introduction de gènes des Caraïbes	Variété fortement améliorée	Variété fortement améliorée issue d'un composite à très large base génétique : Tuxpeno caribe.
Vocation	Agriculture manuelle ou peu intensive (avant-culture)	Agriculture traditionnelle ou peu intensive	Agriculture traditionnelle ou peu intensive	Agriculture d'intensification moyenne	Agriculture d'intensification moyenne
Durée du cycle semis-récolte	75 - 80 j	95 - 100 j	100 - 105 j	105 - 110 j	102 - 108 j
Hauteur du plant	2,25m	1,70m	plus de 3m	2,4 - 2,6m	2,3 - 2,5m
Couleur du grain	Jaune(+quelques grains violets)	Violet et blanc	Jaune(+quelques grains violets)	blanc	blanc
Rendement maximum	41q/ha	50q/ha	62q/ha	95q/ha	62q/ha
Rendement moyen en essais	25q/ha	35q/ha	38q/ha	47q/ha	45q/ha
Points forts	Précocité exceptionnelle bien apprécié du consommateur	rusticité précocité	rusticité apprécié des consommateurs bonne stabilité	Potentialités élevées	bonne stabilité de rendement
Points faibles	Potentialités de rendement réduites	potentialité réduite réponse à la fumure faible couleur appréciée seulement dans quelques zones	potentialités limitées verse en cas de forte fumure sensible à la casse	Stabilité insuffisante peu apprécié du consommateur	Potentialités de rendement moyennes faibles protection de l'épi contre les oiseaux

Tableau n°5 suite : CARACTERISTIQUES DES PRINCIPALES VARIETES TESTEES ET VULGARISEES

	FERKE 7526	C D N	IRAT 81
Origine	Côte d'Ivoire	Mexique	Côte d'Ivoire
Type	Variété améliorée issue de matériel des Caraïbes	brassage d'hybrides	hybride complexe entre introductions : Tuxpeno brachytico x (M 162 W x M 164 W)
Vocation	Agriculture traditionnelle	Agriculture d'intensification moyenne	Agriculture intensive
Durée du cycle semis-récolte	90 j	95 j	110 - 115 j
Hauteur du plant	2,0 m	3,4m	2,60m
Couleur du grain	Jaune	Jaune	blanc
Rendement maximum	?	80q/ha	115q/ha
Rendement moyen en essais	40 q	45q/ha	59q/ha
Points forts	Assez précoce	Précocité	Potentiel très élevé adapté à la culture mécanisée de bonne technicité
Points faibles	mauvaise stabilité rendement médiocre	Verse importante instable	Sensible aux conditions de culture médiocres et à la sécheresse Renouvellement de la semence chaque année

vivrières. En conséquence, la demande paysannale en semences de variétés sélectionnées s'est accrue considérablement, et le seul obstacle à la couverture totale des besoins se situe au niveau de la production de cette semence. Mais, déjà en 1983, 45 % des surfaces encadrées étaient emblavées avec une variété sélectionnée.

Pour des raisons pratiques au niveau de la production semencière, peu de variétés sont en fait actuellement disponibles pour la vulgarisation.

Le Composite Jaune de Bouaké (C.J.B.) représentait à lui-seul en 1983, 74 % de la semence distribuée. Ensuite venait Tuxpeno (17 %) Poza rica (8,5 %) et Ferké (0,5 %). Toutes ces variétés sont des composites, permettant l'obtention d'un rendement moyen (voir tableau n°5) tout en étant assez plastiques pour supporter correctement les agressions du milieu extérieur. C'est avant tout leur stabilité en rendement qui les a fait choisir et non un potentiel de rendement excellent. Pour les agriculteurs les plus évolués, pratiquant un haut niveau d'intensification et, si nécessaire, l'irrigation, la recherche a mis au point des hybrides (IRAT 81 et IRAT 83 en particulier), pouvant dépasser un rendement de 10 T/ha, et qui commencent à être multipliés.

3. Les rendements des cultures de maïs en milieu paysan

Toutes les recherches que nous avons menées sur les foreurs du maïs ont été entreprises sur des points d'observation, sortes de mini-stations d'essais multilocales. Le rendement des cultures sur ces points d'observation diffère, en général, assez sensiblement de celui obtenu en milieu paysan pour des raisons de densité, de fumure, d'entretien. Il convient donc de situer le niveau des rendements en milieu paysan afin de mieux apprécier les possibilités de vulgarisation de méthodes de lutte envisageables chez le cultivateur.

En fait, dans le cas particulier du maïs, les rendements en milieu paysan sont fort mal connus. Des enquêtes sont réalisées au niveau du Ministère de l'Agriculture par la Direction des statistiques rurales (DSREA); elles donnent une estimation des rendements par département. Au niveau de la CIDT, le service "Evaluation" a mis en place des enquêtes à partir de 1983, mais les résultats sont entachés

d'un fort coefficient de variation dû aux difficultés inhérentes aux enquêtes.

Seules sont connues avec précision les productions des exploitations en motorisation intermédiaire, car ces entreprises agricoles sont l'objet d'un suivi méthodique dans le but d'établir des comptes d'exploitation.

Les tableaux 6, 7 et 8 situent les niveaux de rendement obtenus par les paysans en motorisation intermédiaire et ceux estimés à partir d'enquête.

On pourra noter, en particulier, l'impact de la sécheresse de l'année 1983 dans la zone centre : dans le secteur de Yamoussoukro, la production a été nulle et dans les autres secteurs le rendement chute de plus de 60 % par rapport à 1982 (tableau n° 6).

En 1982, année à pluviométrie se situant dans la normale, les rendements varient de 763 à 2660 kgs/ha, avec, dans 5 secteurs sur les 12 suivis, des rendements approchant ou dépassant les 2000kgs/ha. Parmi ces 5 secteurs, 3 font partie de la zone Nord et 2 se situent dans la zone Centre. Les rendements sont surtout faibles dans l'ouest (Odienné, Touba, Séguéla, Mankono) pour des raisons autres que climatiques sauf, peut-être, dans le cas de Mankono, où la pluviométrie fut assez défavorable.

On peut considérer que, dans l'ensemble, les rendements obtenus par les paysans en motorisation intermédiaire donnent une bonne idée des rendements moyens paysans ; car si certains paysans fument leurs parcelles, les niveaux moyens des rendements sont assez comparables à ceux obtenus par enquête. Par exemple, en 1983, dans le nord qui n'a pas souffert excessivement de la sécheresse, les rendements indiqués sur le tableau n° 7 ne diffèrent pas sensiblement de ceux du tableau 6. Par contre les résultats d'enquête en zone centre et ouest surestiment certainement les rendements réels, très affectés par la sécheresse.

Tableau n° 6

Rendements en kg/ha des exploitations en motorisation intermédiaire
(Résultats non pondérés)

Secteur C.I.D.T	Année 1982	Année 1983
BOUNDIALI	2204	1595
KORHOGO	2660	1962
FERKE	1965	1770
ODIENNE	1074	1230
TOUBA	1208	1095
SEQUELA	1071	1064
MANKONO	763	240
KATIOLA	1412	625
BEOUMI	1191	610
BOUAKE	2166	502
YAMOISSOUKRO	1360	0
BOUAFLE	1886	875

Tableau N° 7

Rendements obtenus en milieu paysan
tous modes de culture confondus
(Résultats d'enquête)
Année 1983

Unité Agricole	Rendement moyen kgs/ha	Coefficient de variation	50 % des parcelles ont un rendement compris entre
NORD	1790	0,46	1238 - 2343
OUEST	1894	0,55	1203 - 2585
CENTRE	1307	0,56	821 - 1793

Tableau n° 8

Estimation des rendements en maïs (kg/ha)
pour les années 1980-1981-1982 - Source DSREA

Département	Rendement
BOUNDIALI	1240
KORHOGO	1000
FERKE	1140
ODIENNE	1150
TOUBA	700
SEQUELA	1380
KATIOLA	1430
BOUAKE	1000
BOUAFLE	1030

CONCLUSION

Savanes guinéennes au sud, savanes soudaniennes au nord, constituent donc le paysage dans lequel se sont déroulées nos recherches.

Le climat, pendant notre période d'étude, a été marqué par une phase de sécheresse croissante qui a vu à la fois son terme et son apogée en 1983.

Le maïs, dans cette région, est une culture importante, parfois vitale. On a pu s'en rendre compte avec acuité en 1983, année dramatiquement sèche dans la région centre de la Côte d'Ivoire. Le maïs est en effet l'aliment de base de certaines ethnies, comme l'ethnie Tagwana de la région de Katiola, à 50 kilomètres au Nord de Bouaké. De nombreux décès d'enfants survenus dans cette région en 1984, de Mars à Juin, et dont nous avons pu démontrer qu'ils étaient la conséquence d'intoxications alimentaires par l'arille du fruit de Bliquia sapida (Moyal 1985 et 1986a), ont certainement été favorisés par le fait que l'aliment de base traditionnel, le maïs, faisait défaut. La malnutrition qui s'en est suivie a contribué à amplifier les effets de l'intoxication.

Les superficies récoltées en maïs dans la zone des savanes représentaient, en 1982, 283 000 hectares (statistiques du Ministère de l'Agriculture), avec un rendement moyen de 996 kg/ha.

Les surfaces en maïs sont donc approximativement du double de celles semées en cotonnier. Mais, si toutes les parcelles de cotonnier sont encadrées, 16,3 % seulement des surfaces de maïs étaient encadrées en 1982 (46022 ha). Et encore convient-il de remarquer que ces surfaces encadrées, hormis dans la région nord, ne reçoivent pratiquement aucun intrant ; seule la semence de variétés sélectionnées, qui est gratuite, est assez largement employée par les paysans.

Toutefois, tant au niveau national qu'au niveau régional, l'accent est mis sur la promotion des cultures vivrières. Au niveau de la C.I.D.T., les surfaces de maïs encadrées ont progressé de 61 % de 1980 à 1983. Le maïs est la deuxième culture encadrée après le cotonnier, tant en surface qu'en nombre d'agriculteurs.

"Afrique Agriculture", dans son numéro d'Avril 1984, précisait qu'en 1982, pour la première fois, la Côte d'Ivoire atteignait l'autosuffisance en maïs, couvrant la consommation urbaine (60 000 tonnes), la consommation industrielle (32 000 tonnes) et la consommation rurale (non indiquée par le mensuel, mais que l'on peut estimer à 378 000 tonnes puisque les statistiques du Ministère de l'Agriculture indiquent une production totale de 470 000 tonnes pour la Côte d'Ivoire).

Préserver ce bel acquis, et contribuer à améliorer les résultats obtenus en 1982 doit être un objectif à poursuivre.

Le moment est donc venu d'examiner avec quelque attention les entraves que peuvent apporter les insectes à la réalisation de cette ambition.

DEUXIEME PARTIE :

DONNEES MORPHOLOGIQUES

INTRODUCTION

Nous avons rencontré, au cours des trois ou quatre années qu'a duré notre étude, cinq espèces de foreurs s'attaquant au maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire : deux appartiennent à la famille des Noctuidae : Busseola fusca (Fuller) et Sesamia calamistis Hampson. Deux sont des pyrales : Eldana saccharina Walker et Mussidia nigrivenella Ragonot. La dernière espèce enfin, Cryptophlebia leucotreta (Meyrick) est classée dans la famille des Olethreutidae.

Les adultes de quatre de ces cinq espèces sont bien connus : on pourra consulter par exemple à ce sujet les thèses de Dabiré (1980) et Odjo (1984) pour E. saccharina et S. calamistis, ou bien Tams et Bowden (1953) pour B. fusca et Staeubli (1977) pour C. leucotreta.

Nous n'aborderons donc pas ici la morphologie des imagos de ces diverses espèces. Par contre Mussidia nigrivenella nous a posé quelques problèmes de détermination et nous consacrerons le premier chapitre de cette partie à décrire quelques caractéristiques morphologiques de l'adulte de cet insecte apparemment mal connu.

Le deuxième chapitre de cette partie traitera des stades pré-imaginaux, et nous nous pencherons plus particulièrement sur la chétotaxie larvaire des diverses espèces, qui n'a fait jusqu'à présent l'objet d'aucune étude en Côte d'Ivoire.

Chapitre 1

QUELQUES ELEMENTS DE DETERMINATION
D'UN FOREUR DU MAIS MAL CONNU :
MUSSIDIA NIGRIVENELLA RAGONOT.

INTRODUCTION

Etudiant les ravageurs du maïs en Basse Côte d'Ivoire, Pollet et Al (1978) ont trouvé une espèce de pyrale s'attaquant aux épis de maïs à partir de la mi-épiaison. Des spécimens, envoyés au British Museum, ont été classés dans l'espèce "Catopyla disorphnea Bradley".

A notre arrivée en Côte d'Ivoire, nous avons comparé la nervation alaire des exemplaires conservés par Pollet avec celle de Catopyla disorphnea telle qu'elle était décrite par Bradley en 1968 : des différences flagrantes entre les deux nervations nous ont fait douter de la justesse de la détermination.

Pour en avoir confirmation, nous nous sommes adressé au Museum d'Histoire naturelle de Paris, qui nous a indiqué un spécialiste allemand, à qui nous avons fait parvenir des échantillons.

Ce systématicien nous a répondu qu'il s'agissait vraisemblablement d'Hypsipyla robusta, une espèce dont la nervation alaire était très variable. Cette détermination ne nous enthousiasmait guère, en particulier parce que, depuis près d'un siècle que cette espèce avait été décrite, elle n'avait été signalée que sur des plantes de la famille des Méliacées (Bosson, 1983). Toutefois, le fait que la nervation alaire de cette espèce était indiquée comme très variable ne permettait plus de se baser sur ce seul critère qui apparaissait suffisant pour Catopyla disorphnea. Il devenait nécessaire de mieux connaître la morphologie d'Hypsipyla robusta, et de la comparer avec celle de notre espèce. Et s'il apparaissait que les deux espèces étaient différentes, il devenait indispensable de mieux

connaître les caractéristiques des genres Hypsipyla et Catopyla et celles des genres voisins puisque les deux déterminations aboutissaient à des genres très proches, ce qui laissait supposer que si notre espèce n'appartenait pas à ces deux genres, elle devait tout de même appartenir à un genre voisin.

L'objet de ce chapitre est donc de préciser quelques caractéristiques morphologiques des genres Hypsipyla et Catopyla, de notre espèce, et de situer, en définitive la position systématique de cet insecte qui ne fait pas l'unanimité des spécialistes.

1. QUELQUES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES D'HYPSIPYLA ROBUSTA (MOORE), DE CATOPYLA DISORPHNEA BRADLEY ET DE NOTRE ESPECE.

1.1. Les genres Hypsipyla Ragonot et Catopyla Bradley

Le genre Hypsipyla Ragonot appartient, suivant les auteurs, à la famille des Pyralidae, sous-famille des phycitinae (Bradley, 1968), où à la famille des Phycitidae, sous-famille des Phycitinae (Heinrich, 1956).

Jusqu'à la publication de Bradley en 1968, deux genres étaient, morphologiquement, très proches du genre Hypsipyla :
Ainsi, Ragonot écrivait en 1893 : "Ce genre (Hypsipyla) est bien voisin de Mussidia, mais la structure des antennes l'en distingue immédiatement". Heinrich (1956) notait pour sa part : "This genus is very close to and difficult to distinguish from Sematoneura".

En 1968, Bradley a défini deux nouveaux genres très voisins d'Hypsipyla, et qu'il considère comme appartenant au "complexe générique d'Hypsipyla" : le genre Catopyla et le genre Gyroptera.

Nous sommes donc actuellement en présence de 5 genres aux caractéristiques morphologiques parfois malaisées à distinguer. Si l'on ajoute à cela que la nervation alaire du genre Hypsiptyla est très variable ("the venation is so individually variable in Hypsiptyla that it cannot be trusted". Heinrich, 1956), on comprendra les difficultés de détermination, en particulier lorsque celle-ci n'est basée que sur la nervation alaire. L'espèce type du genre Hypsiptyla est robusta (Moore) dont nous avons pu recueillir un adulte mâle après élevage de chenilles foreuses de Khaya ivorensis.

Nous présenterons donc la nervation alaire de cette espèce (ou, du moins, de l'individu en notre possession), les genitalia mâles, et l'antenne, qui sont trois caractéristiques du genre. Nous indiquerons ensuite les critères de distinction entre les genres Hypsiptyla et Catopyla dont l'espèce type est disorphaea, et représenterons la nervation alaire de C. disorphaea d'après Bradley, 1968.

Enfin, nous décrirons les mêmes caractéristiques morphologiques pour l'espèce que l'on rencontre sur épi de maïs en Côte d'Ivoire, et nous pourrions vérifier si cette espèce appartient à l'un des deux genres mentionnés ci-dessus.

1.1.1. Hypsiptyla robusta (Moore)

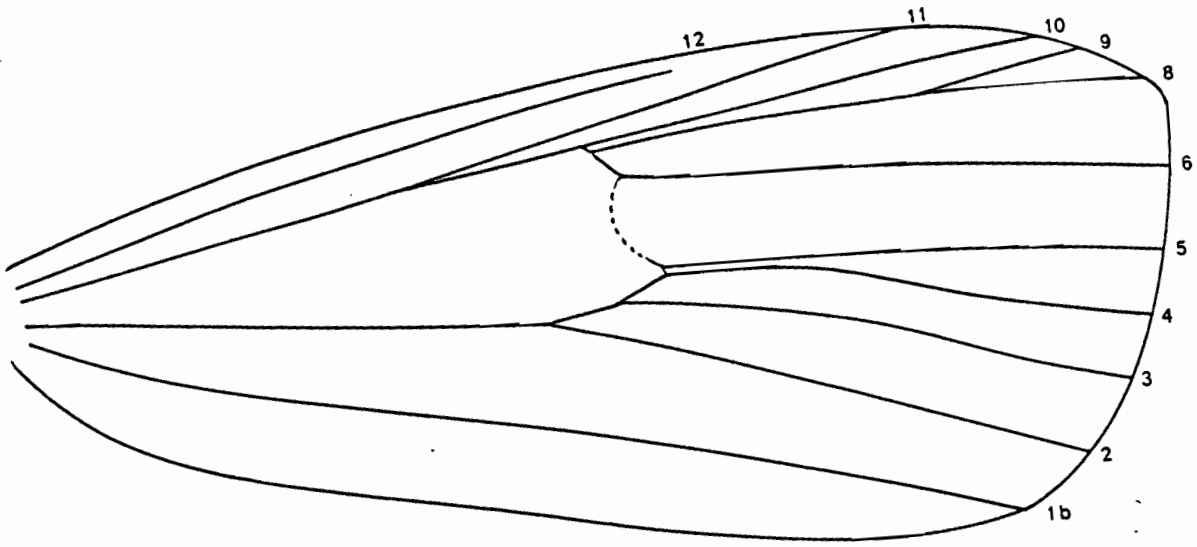
La nervation alaire, les genitalia mâles et l'antenne sont représentés respectivement sur les figures n° 9 , n° 10 et n° 11.

Nous ne nous attarderons pas sur la nervation alaire, caractérisée par sa grande variabilité. Nous noterons simplement que l'individu que nous avons observé possède, pour l'aile antérieure, la nervation alaire typique, exactement semblable à celle représentée par Hampson (1896), Heinrich (1956) ou Bradley (1968) : en particulier la nervure 10 est bien distincte de l'ensemble 8-9, se détachant isolément de la cellule.

Par contre l'aile postérieure diffère sensiblement de celles représentées par Bradley ou Heinrich, alors que le dessin de Hampson ne permet pas une distinction précise : dans notre cas, les nervures 7 et 8 sont tigées au-delà de la cellule et la nervure 6 aboutit sur le tronc commun 7-8 ; les schémas et les descriptions des auteurs cités indiquent des nervures 7 et 8 proches mais entièrement séparées.

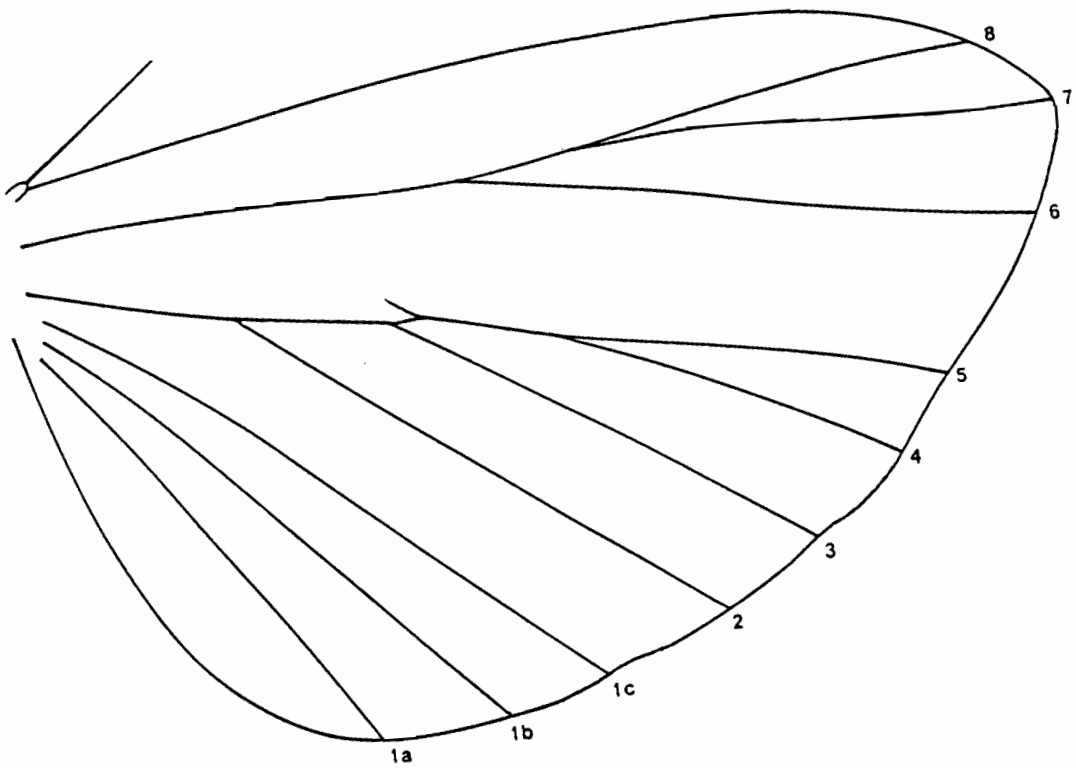
Figure n° 9

Nervation alaire d'*Hypsipyla robusta* (Moore)



Aile antérieure

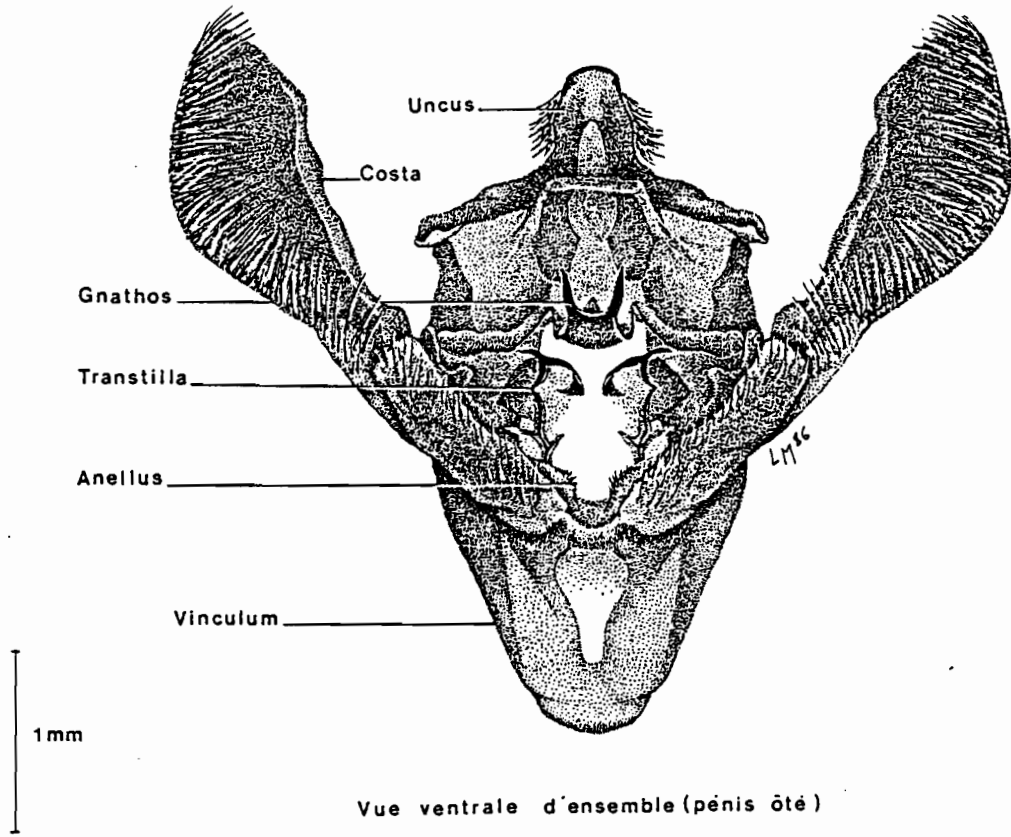
1mm



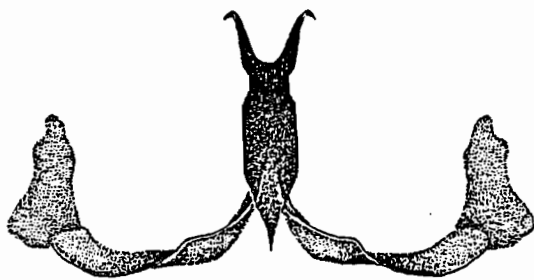
Aile postérieure

Figure n° 10

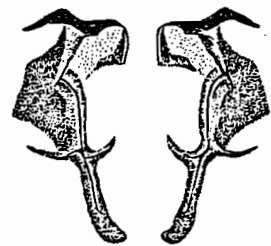
Genitalia mâles d'*Hypsipyga robusta* (Moore)



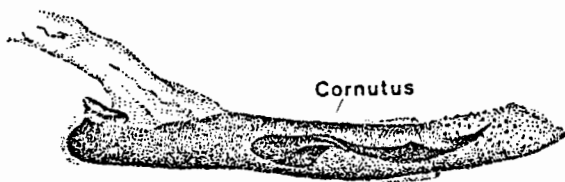
Vue ventrale d'ensemble (pénis ôté)



Gnathos



Transtilla



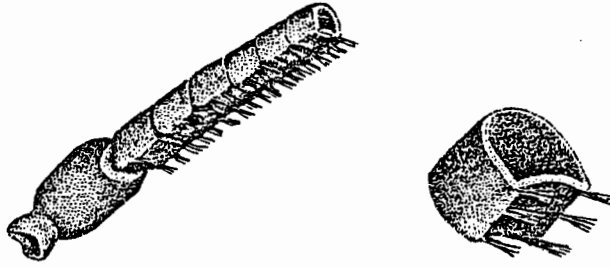
Pénis



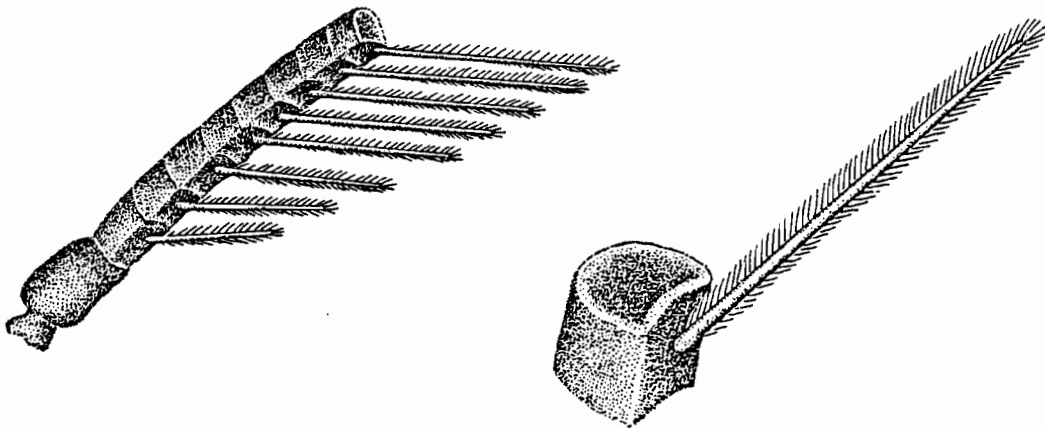
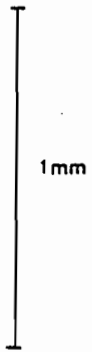
Anellus

Figure n° 11

Détails des antennes des mâles d'*Hypsipyla robusta* et de *Mussidia nigrivenella*.



Hypsipyla robusta



Mussidia nigrivenella

Les genitalia mâles, par contre, sont moins variables et permettent donc une détermination moins douteuse : la figure n° 10 présente les genitalia, dont on a ôté le pénis, en une vue ventrale, et les diverses structures les plus caractéristiques de ces génitalia : la transtilla, dont Bradley dit qu'elle est "very diagnostic for this species", le gnathos, le pénis et l'anellus. Tous ces éléments sont absolument identiques à ceux décrits par Sharma et Singh (1980) pour Hypsipyla robusta, et vont nous permettre de définir les caractéristiques du genre, en nous inspirant de Heinrich (1956) : l'extrémité apicale du gnathos est en forme de crochet fourchu. L'uncus est plus ou moins triangulaire, arrondi à l'apex. La transtilla est complète, robuste, arquée, avec deux puissantes expansions en forme de corne dans sa partie centrale. La harpe présente une costa fortement sclérifiée. L'Anellus est en forme de V ou de U avec de longs bras latéraux. L'aedeage est simple. Un cornutus en forme de lame épaissie et plus ou moins tordue arme le pénis. Le vinculum, légèrement plus long que large, est en général court et avec une marge terminale large et tronquée.

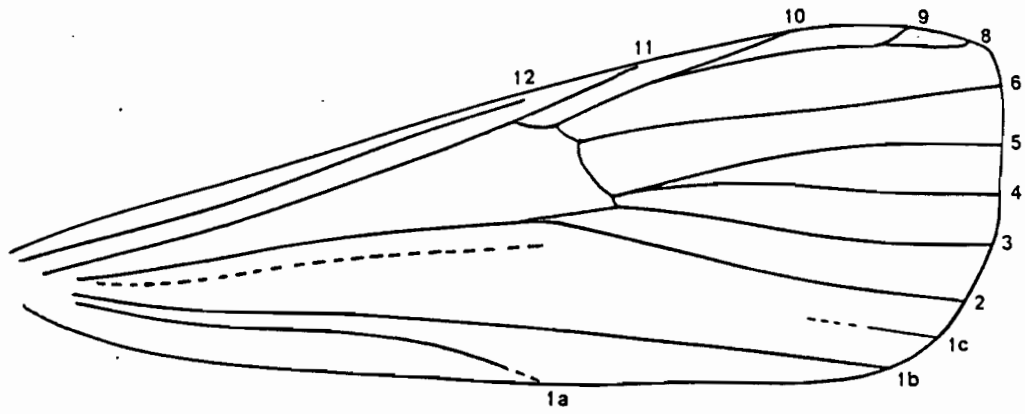
L'antenne du mâle enfin (figure n° 11) est ornée de cils courts, légèrement plus longs que le diamètre de l'antenne, selon Heinrich (1956) alors que pour Ragonot (1893), l'antenne est fortement pubescente, presque ciliée.

1.1.2. Catopyla disorphnea Bradley

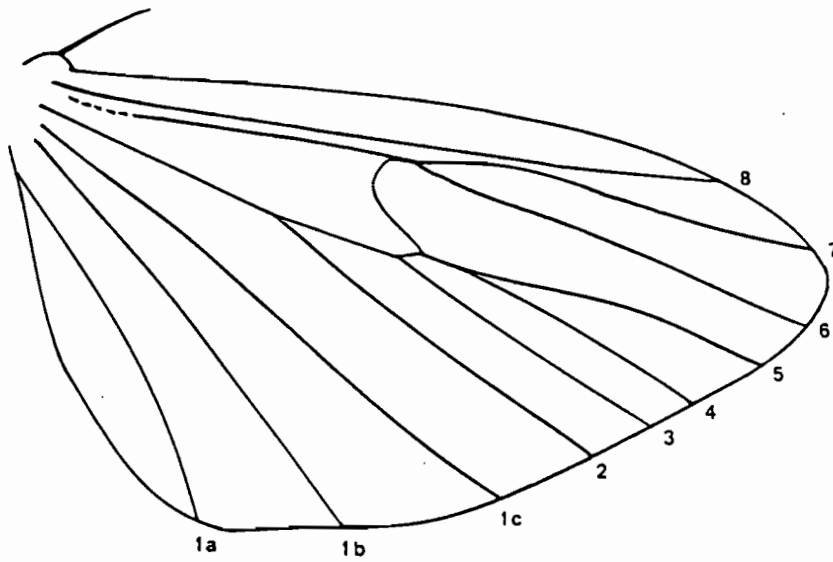
Le genre Catopyla, représenté par la seule espèce disorphnea, peut être distingué d'Hypsipyla par de légères différences dans la nervation alaire : chez Catopyla (figure n° 12), la nervure 10 de l'aile antérieure est légèrement tigée avec 8 et 9 ou est issue du même point, alors que chez Hypsipyla la nervure 10 est normalement issue de la cellule. En outre, chez Catopyla, la nervure 11 a son origine près de la nervure 10, alors que chez Hypsipyla elle se détache vers le milieu de la cellule.

Le genre Catopyla est, en outre, caractérisé par des genitalia mâles présentant un gnathos fourchu à l'apex, une transtille complète avec deux expansions apicales formant un U, un uncus triangulaire, en forme de capuchon, et un cornutus faiblement sclérifié.

Figure n° 12

Nervation alaire de *Catopyla disorphnea* Bradley.

Aile antérieure



Aile postérieure

L'antenne est ornée chez le mâle de cils d'une longueur égale à environ la moitié de la largeur du flagelle, et chez la femelle d'une fine pubescence.

1.2. Description de l'espèce rencontrée sur épi de maïs en Côte d'Ivoire *

Nous n'avons pas noté de variabilité dans la nervation alaire de notre espèce, qui est représentée sur la figure n° 13.

Nous en retiendrons en particulier que, sur l'aile antérieure, la nervure 10 est tigée avec 8 et 9 ; la nervure 11 se détache de la cellule relativement loin de la nervure 10 et la nervure 3 se détache de la cellule assez loin de 4 et 5.

Sur l'aile postérieure, on remarquera que les nervures 7 et 8 sont longuement tigées, ne se séparant qu'à l'extrémité distale de l'aile.

Les genitalia mâles ont été représentés sur la figure n° 14. Leurs principales caractéristiques peuvent être ainsi définies :

- Un gnathos présentant une branche médiane fortement sclérifiée, se creusant en sa partie centrale où elle prend un aspect de gouttière. A la base, cette branche médiane se termine en pointe alors que latéralement elle se divise en deux bras en forme de U, aplatis et torsadés au départ puis plus arrondis et réguliers vers leur extrémité aboutissant à l'uncus. Depuis son extrémité basale en pointe, la branche médiane s'élargit en sa partie centrale pour se rétrécir à nouveau dans sa partie apicale où l'on remarque, dans la plupart des cas, deux minuscules expansions en forme d'épine matérialisant les bords de la partie très légèrement concave constituant l'extrémité apicale du gnathos.

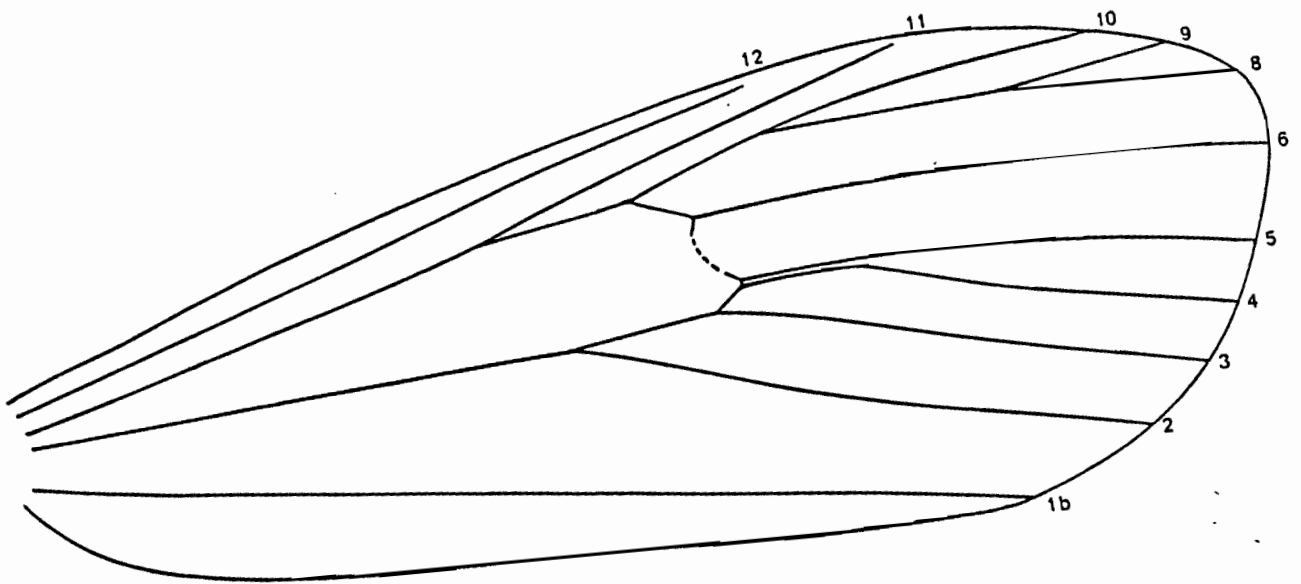
- Entre le gnathos et le pénis, on observe une structure présentant un tronc commun situé parallèlement à la branche médiane du gnathos, et qui se divise en deux branches latérales symétriques vers l'avant du corps : il s'agit sans doute d'une fultura supérieure. (Cette pièce a été ôtée du dessin des genitalia car elle dissimulait le gnathos).

- Entourant le pénis en sa partie médiane, l'anellus se présente sous forme d'un U, des branches duquel se détachent, à environ les deux-tiers de leur hauteur, deux bras latéraux, approximativement aussi longs que les branches et qui leur sont parallèles.

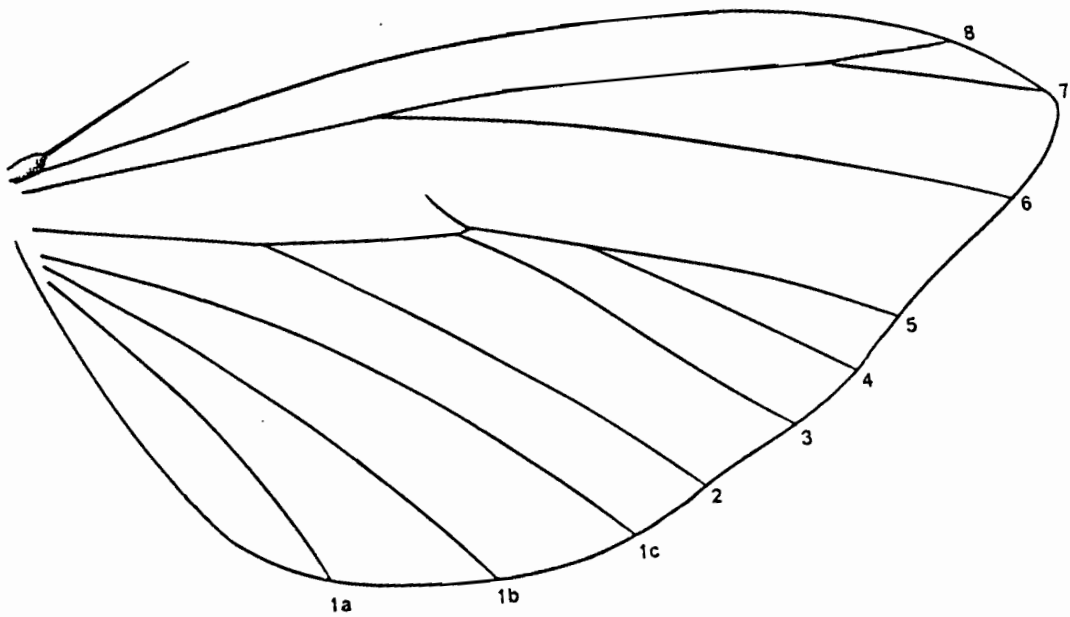
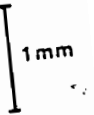
* Nous déterminons ci-après (voir paragraphes 1-3 et 2) cette espèce comme étant Mussidia nirrivenella et la désignons donc ainsi sur les diverses figures.

Figure n° 13

Nervation alaire de *Mussidia nigrivenella* Ragonot.



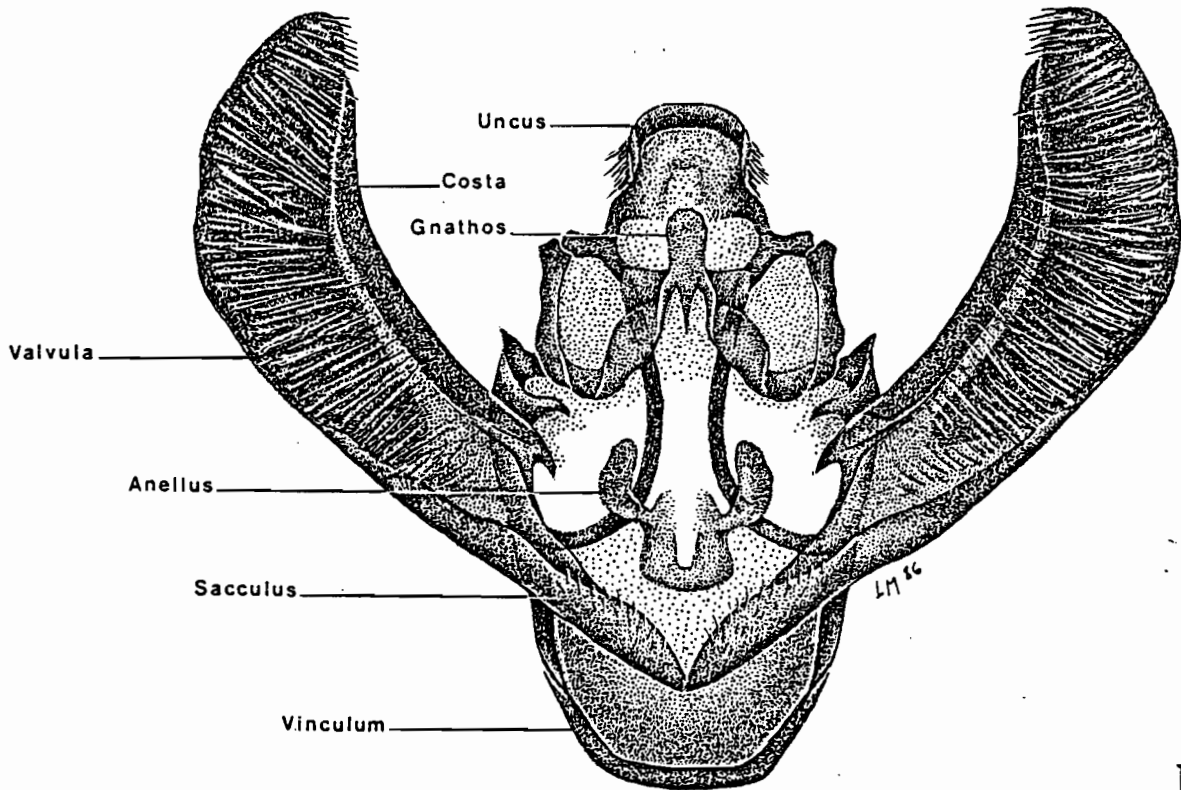
Aile antérieure



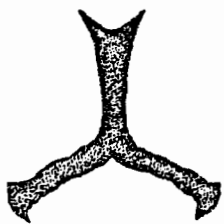
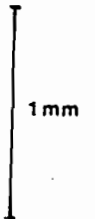
Aile postérieure

Figure n° 14

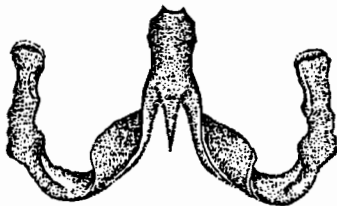
Genitalia mâles de *Mussidia nigrivenella* Ragonot.



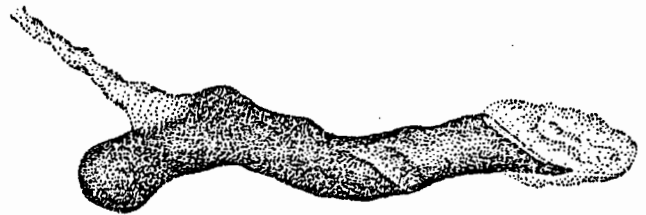
Vue ventrale d'ensemble
(pénis et fultura supérieure ôtés)



Fultura supérieure



Gnathos



Pénis

- Le vinculum est légèrement plus large que long.
- Les valves ont costa, valvula et sacculus nettement différenciés.

La valvula s'écarte très tôt de la costa, dès le quart supérieur de la valve, mais lui reste ensuite approximativement parallèle. Le sacculus est presque aussi long que la valvula, et se rétrécit régulièrement jusqu'à sa jonction avec celle-ci.

- L'uncus a une extrémité apicale très arrondie, dont la largeur est légèrement supérieure à la moitié de la largeur de sa base.

- Le pénis est de forme sinueuse, à l'extrémité taillée en biseau, sans cornutus visible.

Les antennes, enfin, sont pectinées dans les deux sexes (figures n° 11 et 16).

1.3. Discussion

L'examen de la structure des genitalia de l'espèce rencontrée sur maïs en Côte d'Ivoire permet d'établir sans l'ombre d'un doute que cette espèce n'appartient ni au genre Hypsipyla ni au genre Catopyla : le gnathos n'est pas fourchu, on n'observe pas de transtilla, le pénis ne présente pas de cornutus...

Pour les mêmes raisons, cette espèce ne peut appartenir au genre Sematoneura où l'on trouve en particulier transtilla et cornutus (Heinrich, 1956).

Dans quel genre doit-on placer cette espèce ? Si l'on utilise la clef établie par Ragonot (1893) et basée uniquement sur la nervation alaire et la structure des antennes, on aboutit à ce genre très proche d'Hypsipyla déjà mentionné : Mussidia Ragonot.

Si l'on tient compte du fait que la littérature concernant la protection des végétaux en Afrique tropicale mentionne parfois une espèce du genre Mussidia, M. nigrivenella Rag, qui s'attaque aux épis de maïs, on peut se demander légitimement s'il ne s'agit pas là de notre espèce. Peut-on en avoir confirmation par les descriptions taxonomiques ?

2. LE GENRE MUSSIDIA ET L'ESPECE MUSSIDIA NIGRIVENELLA

La littérature que nous avons pu recueillir sur le genre Mussidia et les espèces qui le composent est assez pauvre.

Janse (1941) mentionnait que le genre comprenait 8 espèces, 5 provenant du continent africain, 2 de la Réunion, et une de l'Himalaya, mais ne précisait pas les espèces en question.

Dans son étude des Phycitinae américaines, Heinrich (1956) ne mentionne pas le genre Mussidia, qui semble donc absent du Nouveau Monde.

Ragonot pour sa part donnait la description, en 1893, des 5 espèces alors connues : M. nigrivenella, M. melanoneura, M. physostigmatis, M. irisella et M. semipectinella.

D'autres espèces ont été ensuite décrites : M. fiorii par de Joannis en 1909, M. albipartalis par Hampson en 1910 et M. pectinicornella qui est mentionnée en Indonésie par Kalshoven (1951) et sur cacao en Afrique de l'Ouest par Entwistle (1972). Smith (1965) signale également une M. pectinicornella sur cacao au Ghana qui doit être en fait M. pectinicornella.

Il est donc probable que ces huit espèces sont celles dont faisait mention Janse en 1941.

Si l'on ajoute à cela Mussidia decaryalis décrite par Viette en 1953 à Madagascar et que l'on retranche M. albipartalis transférée en 1968 par Bradley dans le genre Hypsipyla, on aboutit actuellement à un genre Mussidia qui comprend huit espèces.

Nous n'avons pas trouvé d'études des genitalia de ces espèces qui ont été décrites, pour la plupart, à une époque où l'on ne tenait pas compte des armures génitales. Seul Viette a décrit les genitalia de l'espèce decaryalis mais il n'avait en sa possession que des femelles. Toutefois Corbet et Tams (1943) ont réalisé un schéma excessivement simple et d'utilisation délicate des genitalia de M. nigrivenella.

Sans entrer dans la description précise des diverses espèces, nous mentionnerons simplement les éléments qui permettent de penser que notre espèce est Mussidia nigrivenella Rag.

- De toutes les espèces connues du genre Mussidia, une seule a été signalée sur maïs : M. nigrivenella.

- De la description des 5 espèces mentionnées par Ragonot en 1893, de celle effectuée par Janse (1941), il ressort que notre espèce présente les caractéristiques de nigrivenella.

- Les genitalia mâles figurés par Corbet, quoique très sommairement, apparaissent très semblables, pour ce qu'on peut en voir, à ceux de notre espèce. Les genitalia femelles, mieux représentés par Corbet, sont similaires à ceux de notre insecte (figure n° 15).

- Certaines espèces n'ont pas été mentionnées en Afrique de l'Ouest : melanoneura et decaryalis ont été décrites de Madagascar ; irisella et semipectinella de la Réunion ; fiorii d'Erytrée. La seule espèce signalée à la fois en Afrique de l'Ouest et sur maïs est M. nigrivenella.

CONCLUSION

Toutes les données que nous avons pu recueillir sur Mussidia nigrivenella Ragonot s'accordent avec les observations effectuées sur l'espèce que nous avons rencontrée sur maïs en Côte d'Ivoire.

La nervation alaire et la forme des antennes placent cette espèce dans le genre Mussidia ; les diverses caractéristiques de coloration, de répartition géographique, de plante-hôte, distinguent cette espèce des 7 autres espèces du genre Mussidia dont nous avons trouvé mention dans la littérature.

Figure n° 15

Genitalia femelles de *Mussidia nigrivenella* Rag.

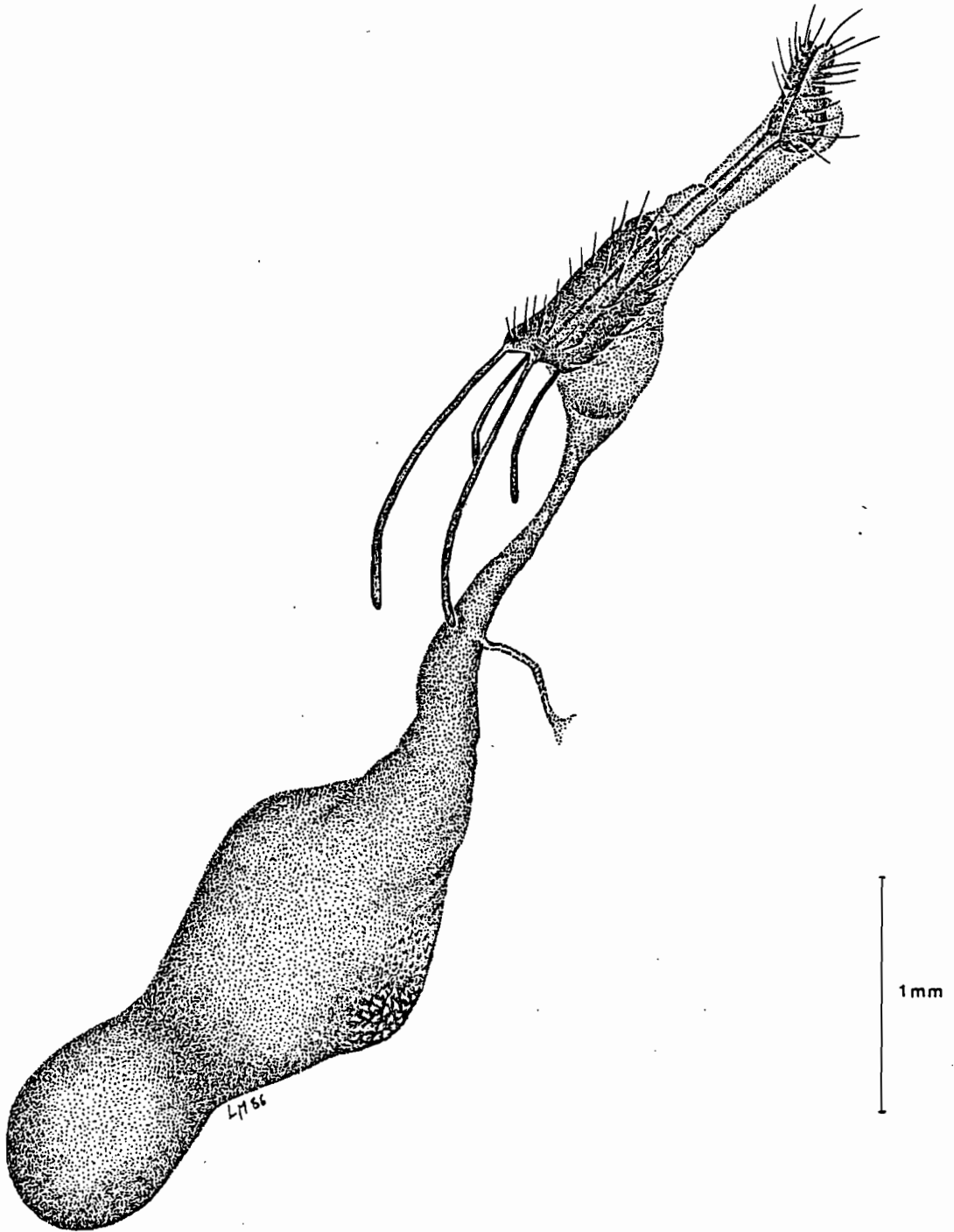
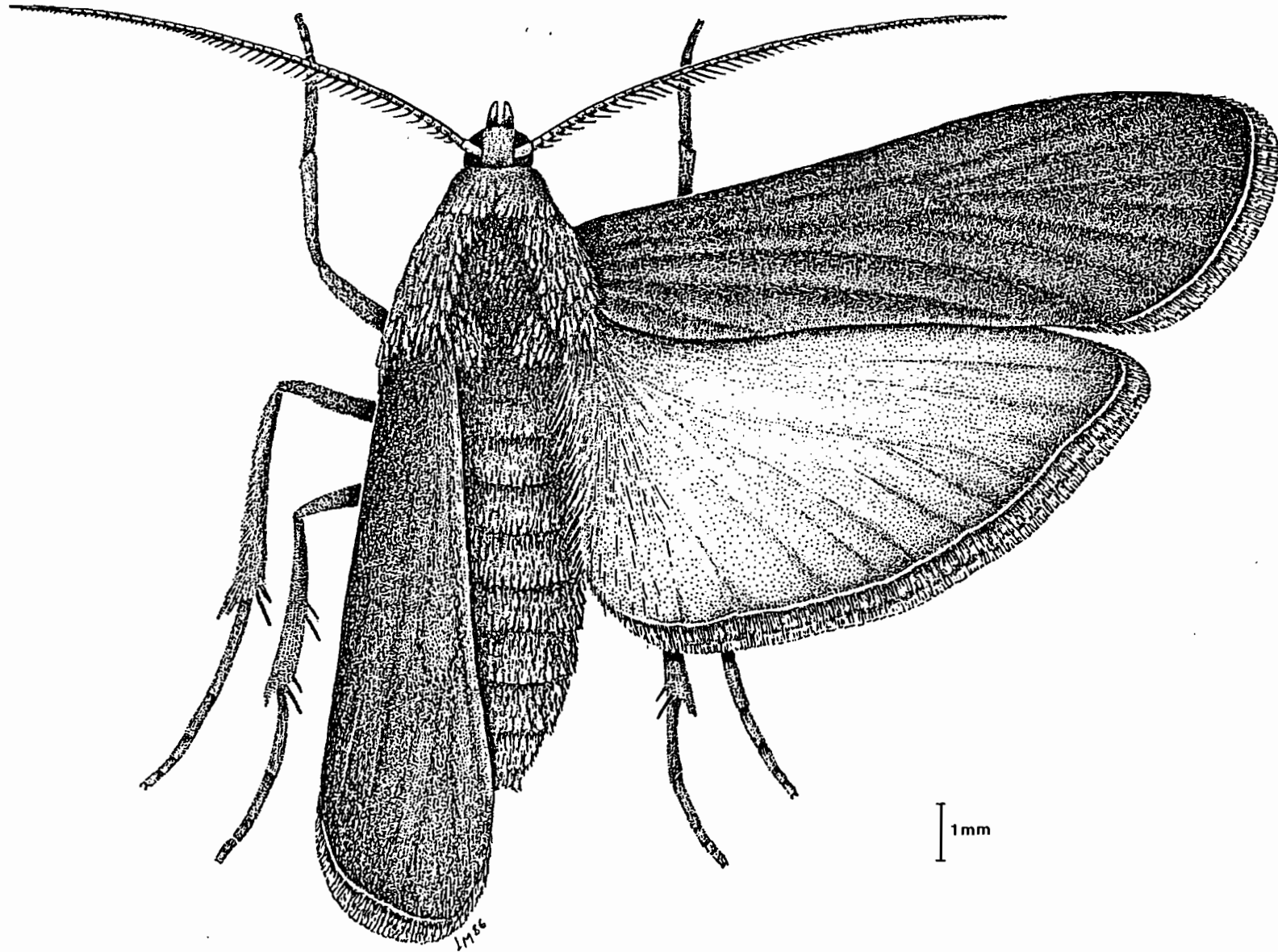


Figure n° 16 : l'Imago de *Mussidia nigrivenella* Ragonot.



Nous sommes donc bien en présence de Mussidia nigrivenella. C'est du moins ce que l'on peut conclure à la suite de cette brève étude taxonomique, qui aura en outre souligné les difficultés de détermination des Phycitinae tropicales, et mis en relief le fait qu'une mise à jour des connaissances sur certains genres tel que Mussidia ne serait pas superflue.

Chapitre 2

ELEMENTS DE MORPHOLOGIE DES STADES PRE-IMAGINAUX

INTRODUCTION

L'habitus des stades pré-imaginaux d'Eldana saccharina, de Busseola fusca et de Sesamia calamistis a été décrit par Tran (1981). Nous ne reviendrons pas ici sur ces foreurs et nous limiterons à la description de l'habitus des deux foreurs du maïs non mentionnés dans l'ouvrage de Tran : Mussidia nigrivenella et Cryptophlebia leucotreta.

Toutefois, la description de l'habitus ne permet pas toujours une reconnaissance précise des insectes en présence, en particulier au niveau larvaire. Nous étudierons donc dans ce chapitre la chétotaxie du dernier stade larvaire des diverses espèces de foreurs, afin de permettre une comparaison détaillée des diverses chenilles et de ce fait une distinction plus aisée.

1. HABITUS DES STADES PRE-IMAGINAUX DE MUSSIDIA NIGRIVENELLA RAGONOT ET DE CRYPTOPHLEBIA LEUCOTRETA (MEYRICK)

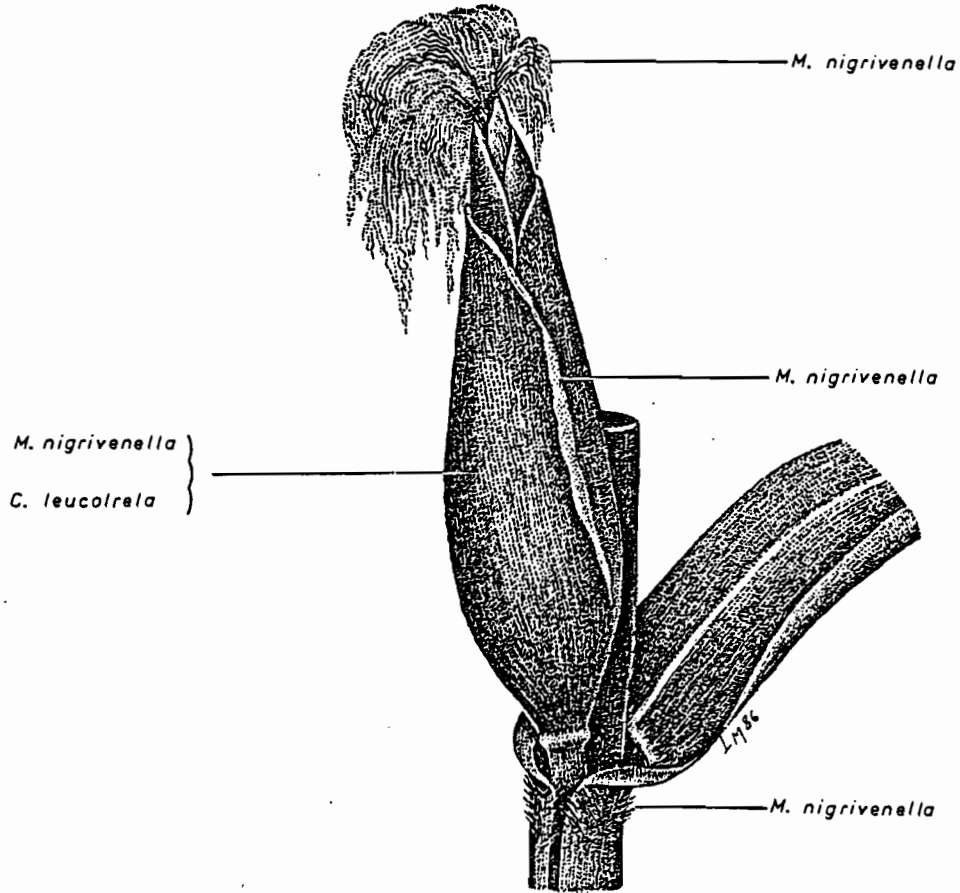
1.1. Mussidia nigrivenella Ragonot

1.1.1. La ponte (figure n° 17)

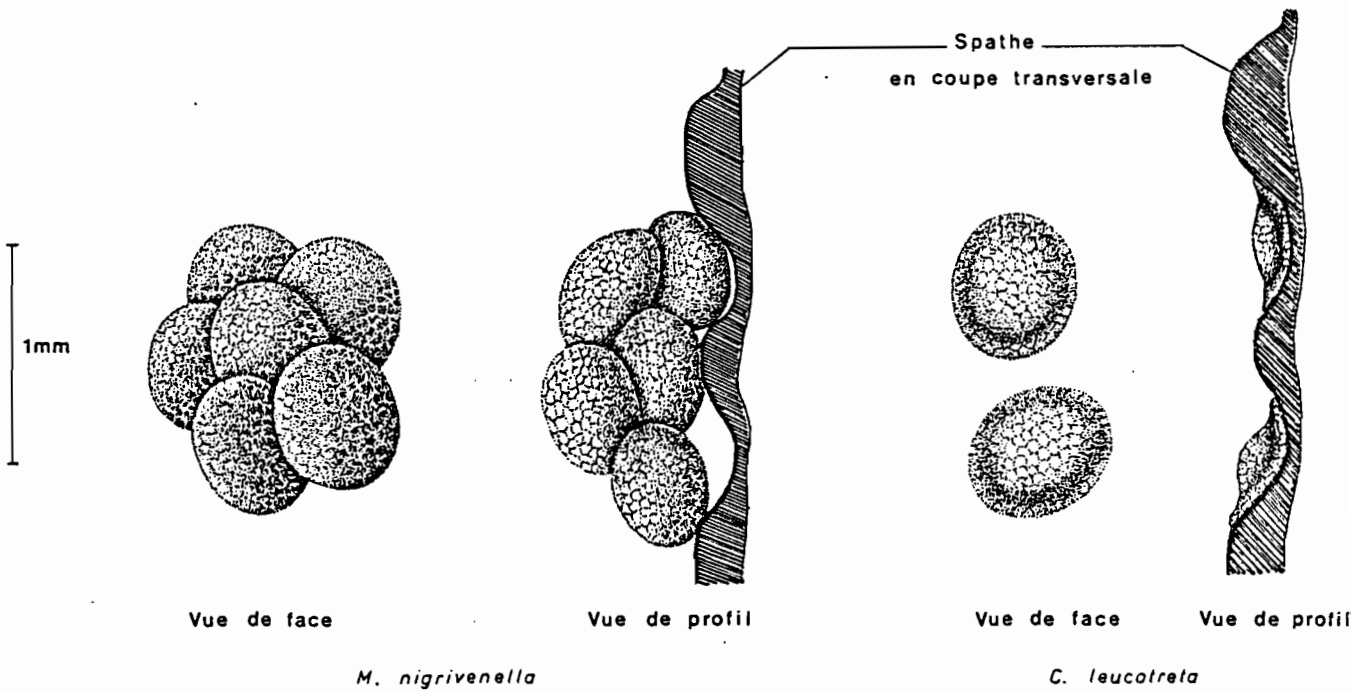
L'oeuf de M. nigrivenella est ovoïde : son plus grand diamètre est d'environ 0,6 mm, son plus petit de 0,4 mm. Le chorion est réticulé, à mailles grossièrement polyédriques et dont le contour est en relief. Blanchâtres

Figure n° 17

Les pontes de *Mussidia nigrivenella* et de *Crypophlebia leucotreta*.



Emplacement des pontes



lorsqu'ils sont pondus, les oeufs prennent une teinte rouge-rosée après un à deux jours d'incubation. Ils sont déposés, soit isolément, soit en masses, en diverses parties de l'épi de maïs : on les rencontre le plus fréquemment sur les spathes, soit à leur surface, soit insérés sous leur bordure. Les oeufs à la surface des spathes sont le plus souvent pondus en petites masses, ou isolément, alors que l'on trouve en général des pontes plus importantes, pouvant atteindre parfois 100 oeufs, au contact entre deux spathes. On rencontre également des oeufs sur les soies ou bien parmi les poils qui se trouvent au sommet de la gaine de la feuille* à l'aisselle de laquelle est situé l'épi.

1.1.2. La larve (figure n° 18)

La larve néonate de Mussidia nigrivenella est de couleur rouge-rosée. Elle devient rose pâle au second stade et prend au troisième stade une teinte blanc-crème qu'elle gardera jusqu'à la nymphose.

La larve de dernier stade, qui mesure de 18 à 20 mm, présente donc un corps blanchâtre sur la face dorsale duquel on distingue à l'oeil nu les petits pinacula bien sclérifiés portant les soies.

Le bouclier thoracique, brun à l'arrière, est nettement plus clair à l'avant, et est divisé en deux longitudinalement par une bande médiodorsale non sclérifiée.

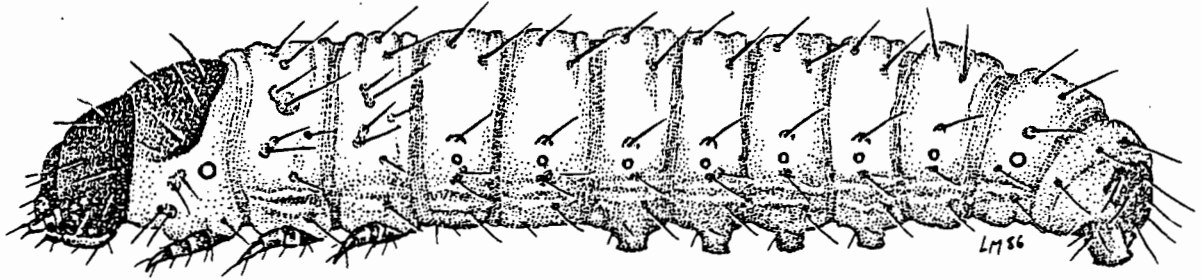
Le bouclier anal est bien développé et se détache sous forme d'une plaque brune ainsi que le pinaculum portant les soies dorsales du 9e segment abdominal.

Les fausses-pattes abdominales ventrales sont coronates et les pattes anales semi-coronates. Les stigmates sont grossièrement circulaires.

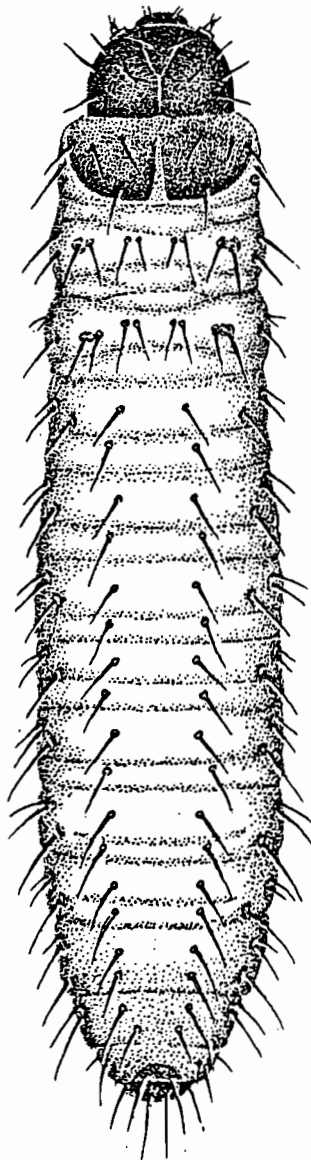
* Nous utilisons ici le terme de "feuille" pour ce qui est, en fait, le faux-limbe des botanistes.

Figure n° 18

La larve de *Mussidia nigrivenella* Raq.



Vue latérale



1mm

Vue dorsale

La capsule céphalique, sans suture coronale, prognathe, présente des mandibules ayant les trois dents inférieures bien développées et la quatrième, formant l'angle supérieur, beaucoup plus petite.

Elle porte 6 stemmates, dont 4 sont approximativement en ligne droite alors que les deux autres sont situés sous les stemmates de chaque extrémité du segment de droite ainsi formé (voir figure n° 24).

1.1.3. La Chrysalide (figure n° 19)

De couleur brun-clair sur le ventre et les flancs, brun-foncé sur le dos, la chrysalide de M. nigrivenella est très caractéristique et peut difficilement être confondue avec la chrysalide d'une autre espèce de foreur du maïs.

Mesurant environ 13 à 14 mm, elle porte, dorsalement, deux rangées longitudinales d'épines visibles à l'oeil nu : chaque segment abdominal porte deux épines situées symétriquement de part et d'autre de l'axe reliant une crête dorsale à l'extrémité de l'abdomen.

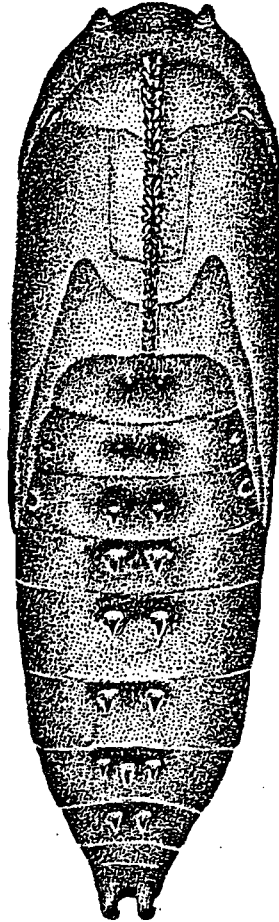
On observe toutefois parfois une épine supplémentaire sur un segment, et parfois une fait défaut.

La crête, qui s'étend de l'extrémité antérieure de la chrysalide jusqu'au premier segment abdominal, est constituée de deux rangées de petites protubérances noirâtres d'autant plus volumineuses que l'on se dirige vers l'avant du corps où elles sont juchées sur un bourrelet qui s'estompe vers l'arrière du corps.

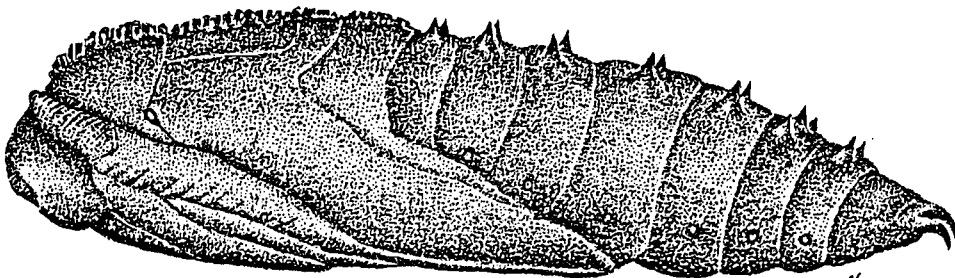
A l'extrémité antérieure de la nymphe on observe, de part et d'autre de la crête dorsale, des petites cornes émoussées, et l'extrémité postérieures de l'abdomen se termine par deux forts crochets situés dorsalement et courbé vers le ventre.

Figure n° 19

La nymphe de *Mussidia nigrivenella* Rag.



Vue dorsale



Vue latérale

LH 66

1.2. Cryptophlebia leucotreta Meyrick

1.2.1. La ponte (figure n° 17)

La ponte de C. leucotreta, bien que d'une taille équivalente à celle de Mussidia nigrivenella, est nettement plus difficile à distinguer sur un épi de maïs, car ses bords sont très aplatis et seule la partie centrale renflée est visible à l'oeil nu.

Elle est réticulée, mais de façon moins marquée que celle de Mussidia.

Dans tous les cas où nous l'avons observée sur épi de maïs, elle était déposée sur les spathes, plaquée au fond des petites crevasses qui alternent avec de petites crêtes à la surface des spathes.

Les oeufs étaient généralement isolés, très rarement groupés par 2 ou 3.

La couleur de l'oeuf, blanchâtre lors de la ponte, vire au rouge-orangé lors de l'incubation.

1.2.2. La larve (figure n° 20)

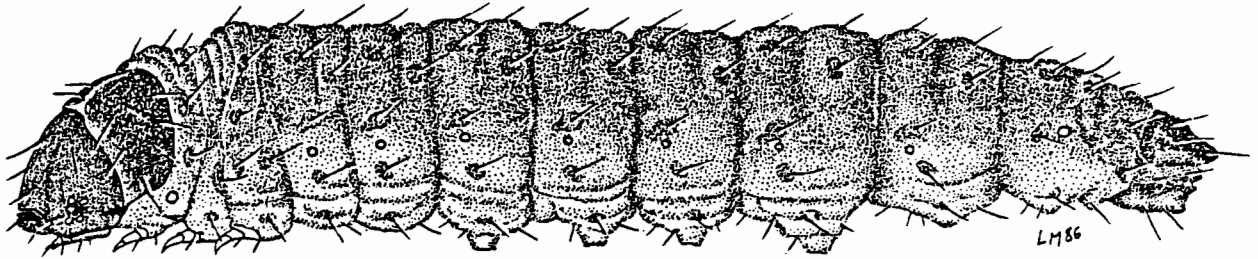
Jaune-orangée à l'éclosion, la larve prend par la suite une couleur rose-vif sur le dos, jaunâtre sur le ventre. Elle mesure environ 15 mm de long au dernier stade.

La chenille de C. leucotreta possède une caractéristique particulière qui permet de la distinguer immédiatement des autres chenilles foreuses du maïs : juste sous le bouclier anal, dissimulé en vue dorsale mais très net en vue ventrale, se trouve un peigne anal présentant de 2 à 10 dents, avec une moyenne de 6. Cette structure peut toutefois manquer : sur 82 larves examinées par Stofberg (1948), 3 n'en possédaient pas.

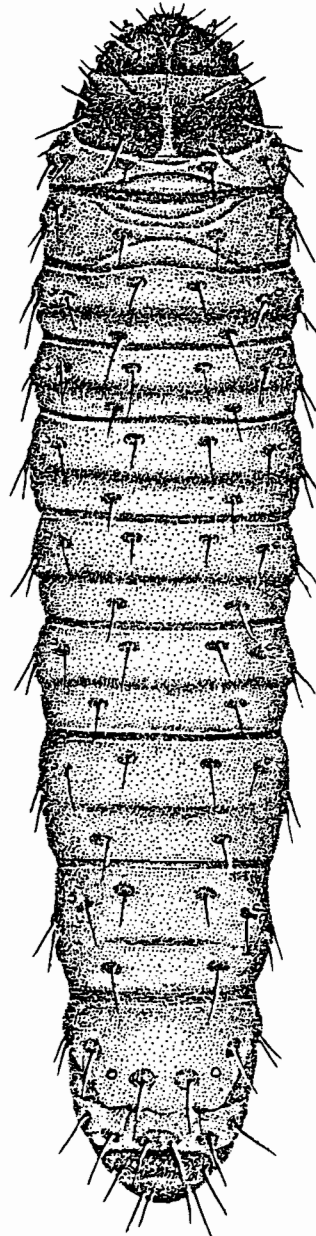
En vue dorsale, les pinacula, peu sclérifiés, sont larges. Le bouclier thoracique, brun à l'arrière, est nettement moins sclérifié à l'avant où il prend une teinte plus claire ; il est divisé en deux longitudinalement par une bande médio-dorsale non sclérifiée.

Figure n° 20

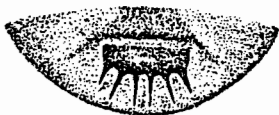
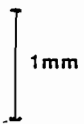
La larve de *Cryptophlebia leucotreta* Meyr.



Vue latérale



Vue dorsale



Peigne anal
(Vue ventrale)

Le bouclier anal, brun-clair, est bien visible, alors que le pinaculum dorsal du 9^e segment abdominal, peu sclérifié, ne se distingue guère des pinacula des autres segments.

Les fausses pattes abdominales ventrales sont coronates, les anales semi-coronates. Les stigmates sont grossièrement circulaires.

La capsule céphalique, sans suture coronale, porte des mandibules à 4 dents, dont les deux du milieu sont nettement plus puissantes que les deux extérieures. On y trouve également deux groupes de 6 stemmates dont 5 forment un arc de cercle alors que le dernier est à l'extérieur de cet arc de cercle, vers l'avant de la capsule céphalique, sous le point d'insertion de l'antenne (figure n° 26).

1.2.3. La chrysalide (figure n° 21)

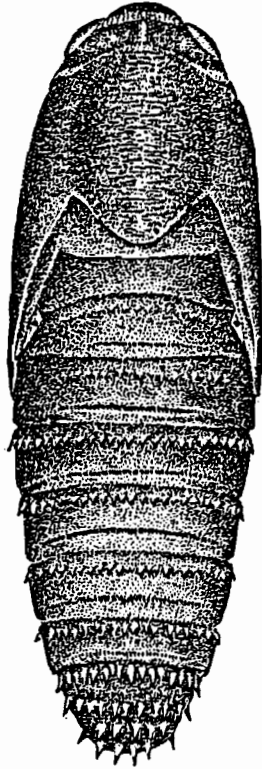
Brun-clair au niveau abdominal, brun-foncé dans sa partie thoracique, la chrysalide mesure environ 7 mm de long. Elle ne possède pas de crête dorsale, et est tout à fait remarquable par l'ornementation des segments abdominaux : chaque segment abdominal porte, en effet, deux demi-couronnes d'épines partant d'un flanc au niveau d'un stigmate pour rejoindre par la face dorsale l'autre pleure.

Les épines de la rangée supérieure de chaque segment sont plus grosses et moins régulières que celles de la rangée inférieure. Elles deviennent, en outre, de plus en plus développées à mesure que l'on se dirige vers l'extrémité de l'abdomen.

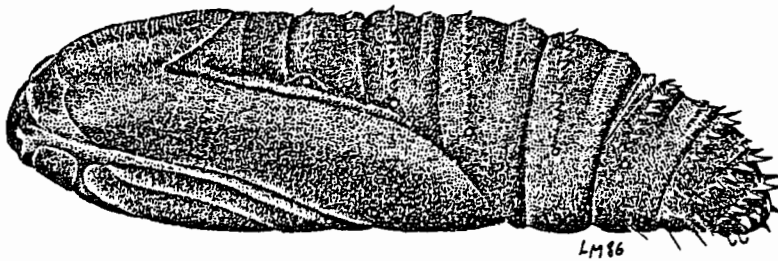
En vue ventrale, on observe, sur le dernier segment abdominal, 2 à 3 paires de fins crochets juchés sur de petites protubérances.

Figure n° 21

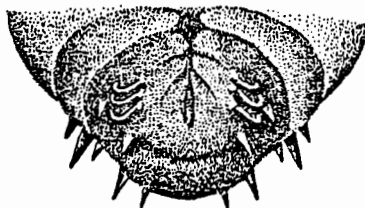
La Nympe de *Cryptophlebia leucotreta* Meyr.



Vue dorsale



Vue latérale



Vue ventrale de l'extrémité de l'abdomen

2. COMPARAISON DE LA CHÉTOTAXIE LARVAIRE DES DIVERSES ESPÈCES DE FOREURS

2.1. Méthodologie

Les études de la chétotaxie segmentaire des larves de Lépidoptères entreprises par divers auteurs ont abouti à des propositions de classification des soies propres à chaque systématique.

Janse (1939) établit une correspondance entre sa propre classification et celle de ses prédécesseurs (Dyar, Quail, Forbes, Fracker). Tous ces auteurs, toutefois, ne tiennent compte que des soies longues et négligent les soies microscopiques.

Hinton, pour sa part, après avoir employé la classification de Fracker en 1943, utilisant des lettres grecques, proposera en 1946 une classification basée sur la localisation dorsale, subdorsale, latérale, subventrale et ventrale des soies, et prenant en compte les soies microscopiques. C'est cette méthode que nous retiendrons ici.

En ce qui concerne la capsule céphalique nous retiendrons également avec Bourgogne (1951), le système de Hinton, qui se caractérise, en particulier, par une distinction des diverses zones épicroaniales, qui, selon Janse (1939) avait peu d'intérêt. C'est la seule différence avec le système de JANSE, les autres soies, adfrontales, frontales et clypéales étant dénommées de la même façon. Il est à noter toutefois que des différences existent entre les qualificatifs des diverses parties de la capsule céphalique : ce que l'un appelle le front est pour l'autre un clypeus, le clypeus du premier étant l'anticlypeus du second.

Des exemples de la nomenclature des soies selon Hinton sont fournies sur les figures concernant Eldana saccharina : nous avons indiqué les noms des soies du premier segment abdominal, qui comprend 11 paires de soies longues et 2 paires de soies microscopiques ; il est aisé, à partir de cette description, d'établir les correspondances pour les autres segments et les autres larves.

2.2. Résultats

Les résultats de nos observations sur le dernier stade larvaire sont représentés dans les figures n° 22 à n° 31, et nous avons résumé dans le tableau n° 9 le nombre de paires de soies de chaque segment et la conformation des couronnes de crochets des fausses pattes abdominales.

2.3. Discussion

Toutes les capsules céphaliques des diverses larves présentent la même chétotaxie et il est donc très difficile de distinguer les diverses espèces par l'intermédiaire de cette partie de l'organisme. Cette observation rejoint la constatation de Bourgogne (1951) selon lequel la "disposition fondamentale (des soies de la capsule céphalique) est remarquable par son uniformité (...) et reste la même à tous les stades larvaires de la grande majorité des espèces".

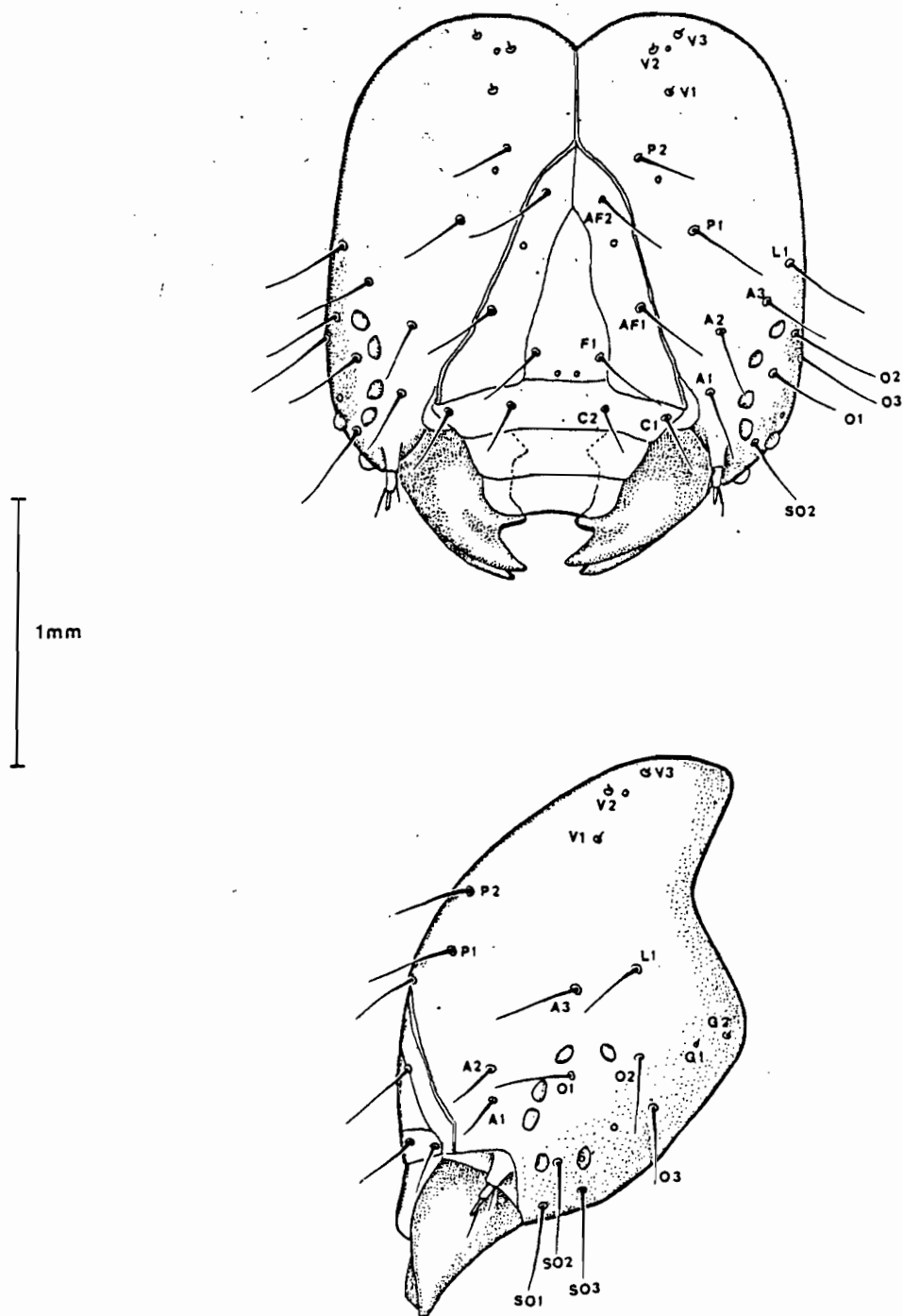
Par contre, au niveau de la chétotaxie segmentaire ainsi que des pattes abdominales, des différences nettes distinguent la plupart des espèces : seuls Busseola fusca et Sesamia calamistis ne se distinguent pas par le nombre de soies ni par les couronnes de crochets des pattes abdominales.

On peut, à l'inverse, aisément distinguer Cryptophlebia de Mussidia de diverses façons : ainsi, Cryptophlebia leucotreta possède trois soies latérales sur le prothorax et trois subventrales contre 2 pour Mussidia nigrivenella. Par contre M. nigrivenella possède une soie subventrale de plus sur le 9e segment abdominal. Des différences existent sur pratiquement tous les segments en ce qui concerne les soies microscopiques, et, en outre, les fausses pattes abdominales sont biordinales chez C. leucotreta et triordinales chez M. nigrivenella.

De même Eldana saccharina se distingue aisément des deux chenilles précédentes, en particulier par la présence de deux longues soies subdorsales sur les 8 premiers segments abdominaux au lieu d'une longue soie et d'une soie microscopique chez C. leucotreta et M. nigrivenella.

Il est donc aisé de distinguer Mussidia nigrivenella d'Eldana saccharina malgré l'appartenance de ces deux espèces à une même famille.

Figure n° 22

Chétotaxie de la capsule céphalique d'*Eldana saccharina* Wik.

AF : soies adfrontales

SO : soies suboculaires

F : soies frontales

L : soies latérales

C : soies antéclypéales

P : soies postérieures

A : soies antérieures

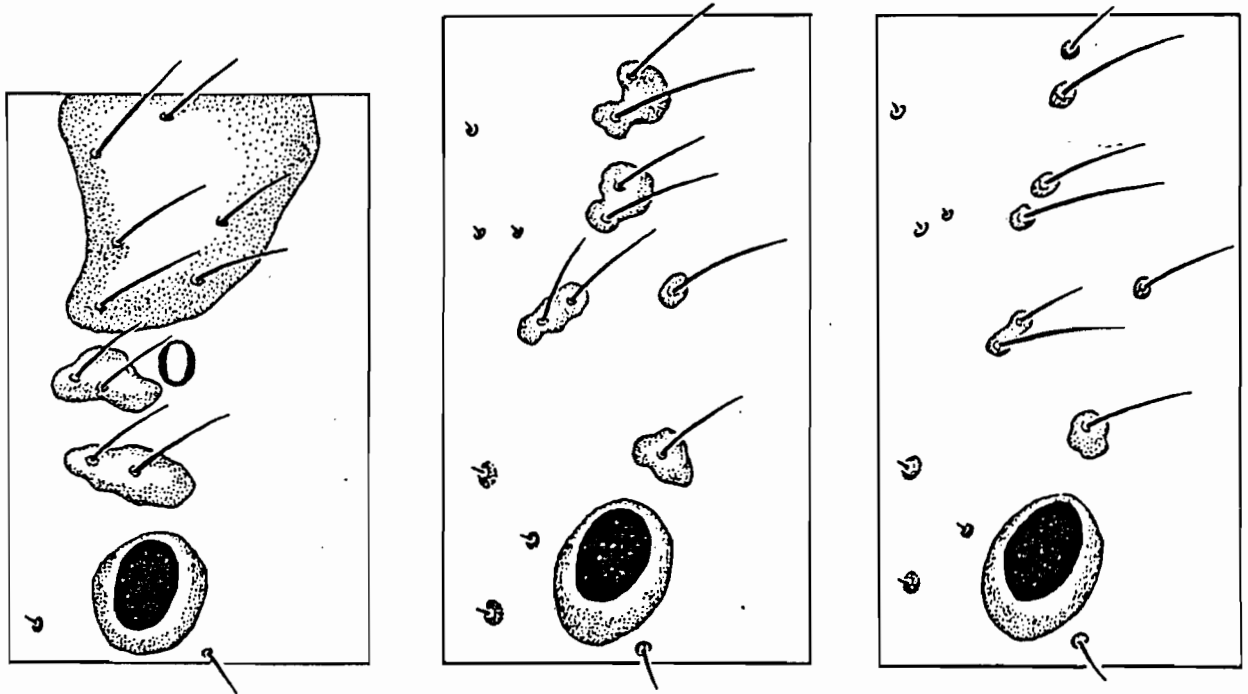
G : soies génales

O : soies ocellaires

V : soies verticales

Figure n° 23

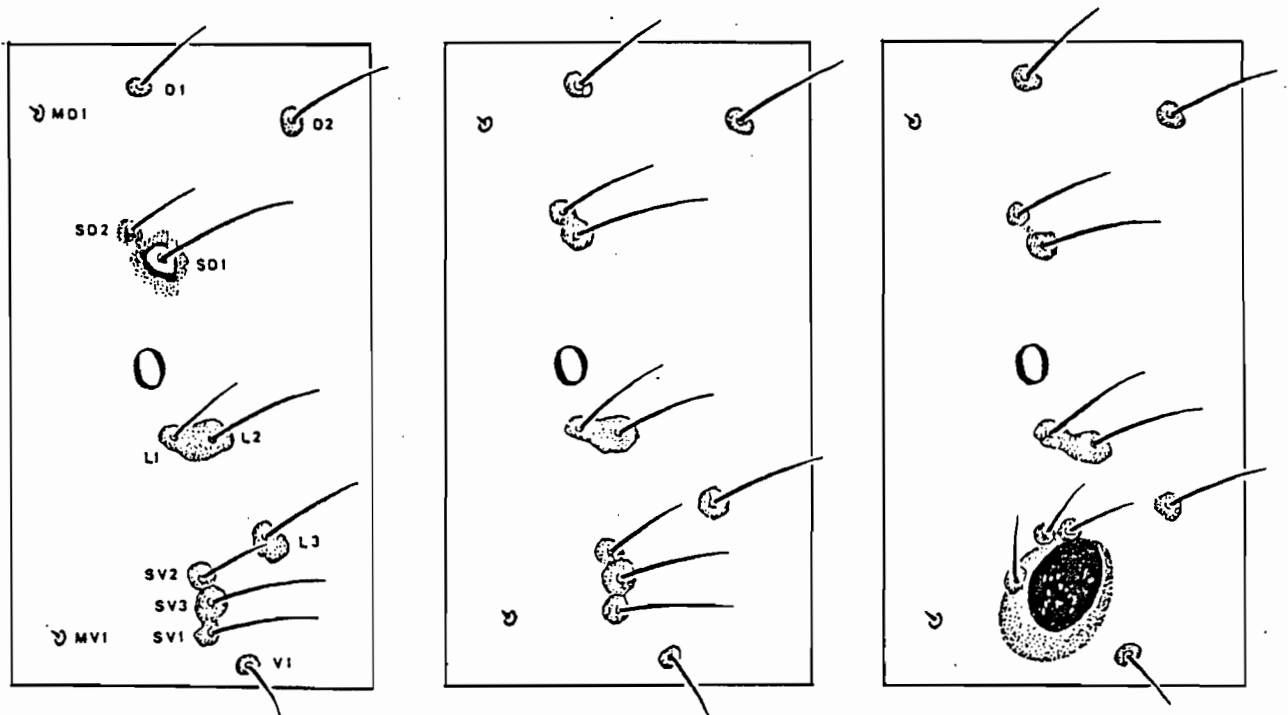
Chétotaxie segmentaire d'*Eldana saccharina* Wik.



1^{er} segment thoracique

2^e thoracique

3^e thoracique



1^{er} segment abdominal

2^e abdominal

3^e (≡ 4^e, 5^e, 6^e) abdominal

D : soies dorsales

SV : soies sub-ventrales

MD : soies dorsales microscopiques

V : soies ventrales

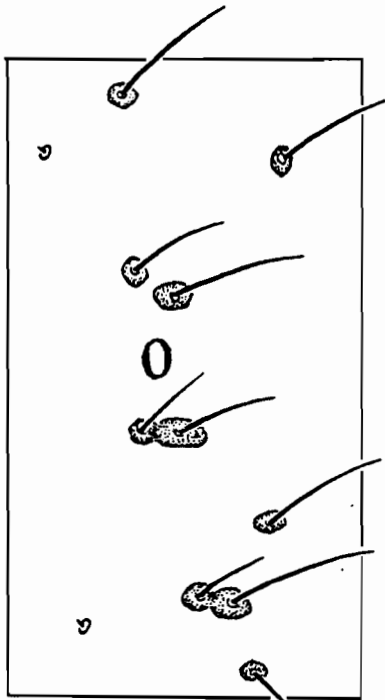
SD : soies sub-dorsales

L : soies latérales

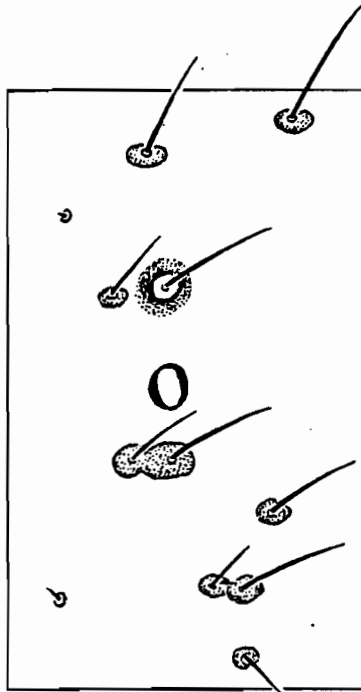
MV : soies ventrales microscopiques

Figure n°23 (suite)

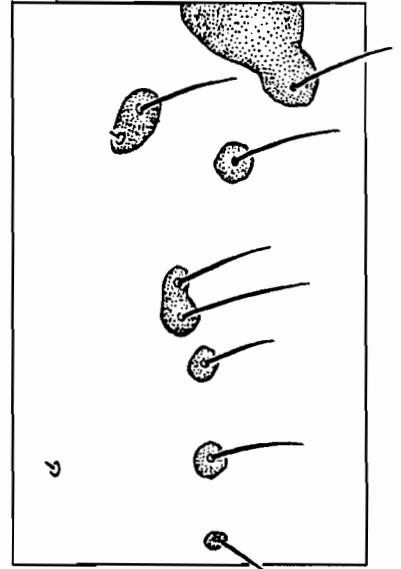
Chétotaxie segmentaire et fausses pattes d' *E. saccharina*.



7° segment abdominal

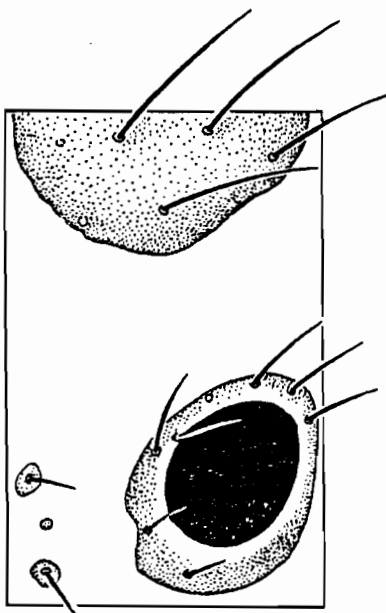


8° abdominal

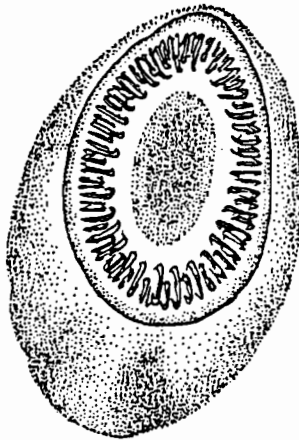


9° abdominal

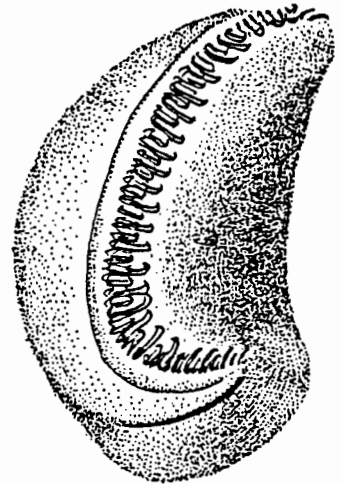
1mm



10° abdominal



ventrale



anale

1mm

Fausses pattes abdominales

Figure n° 24

Chétotaxie de la capsule céphalique de *Mussidia nigrivenella* Rag.

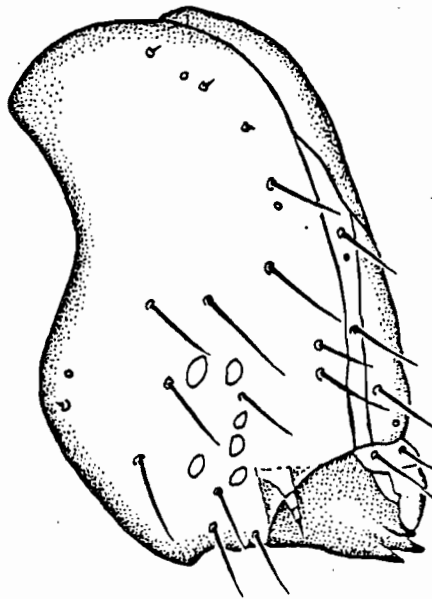
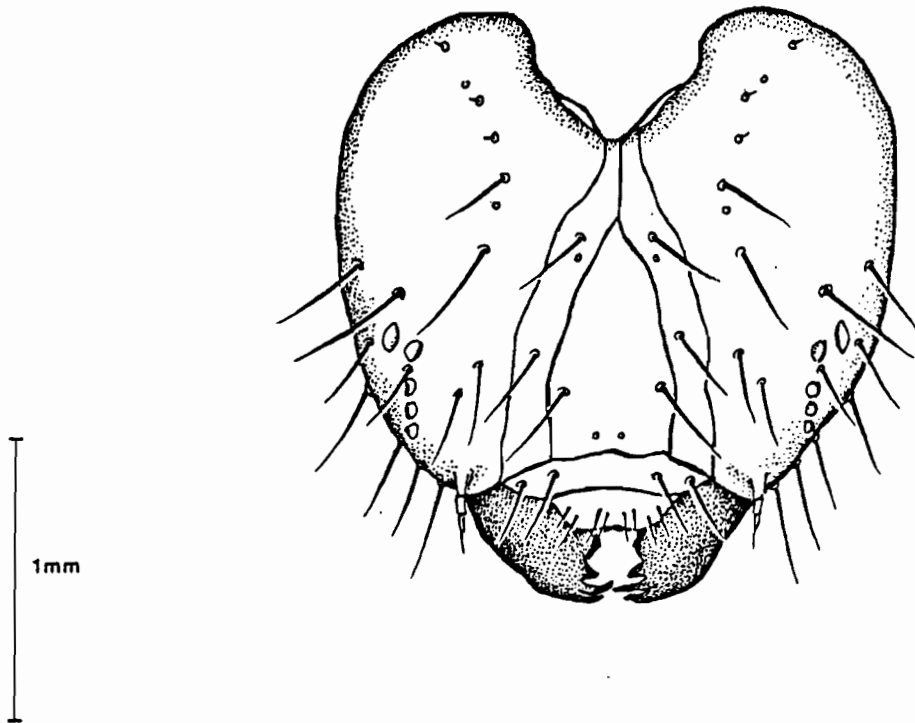


Figure n° 25

Chétotaxie segmentaire de *Mussidia nigrivenella* Rag.

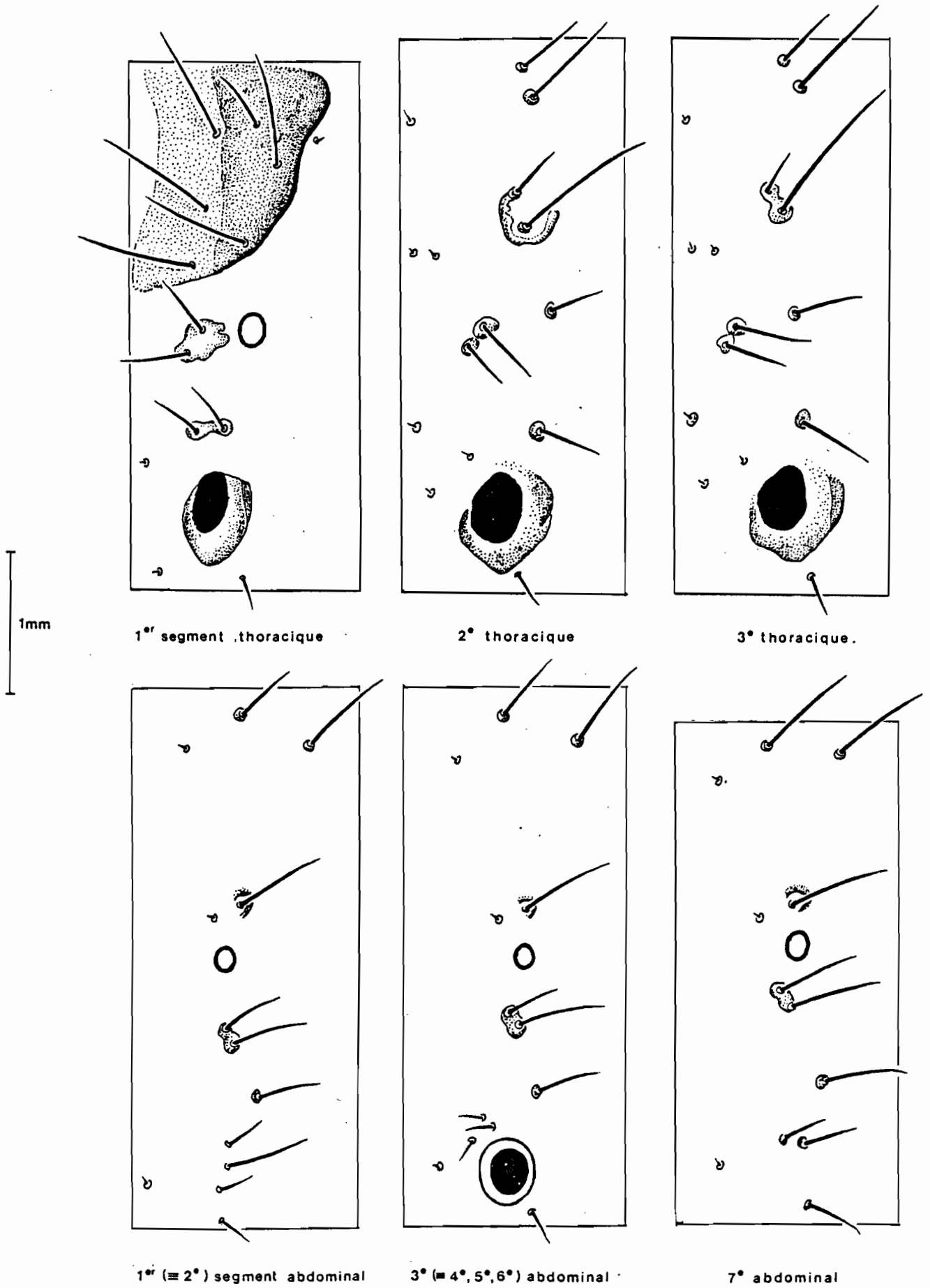


Figure n°25 (suite)

Chétotaxie segmentaire et fausses pattes de *M. nigrivenella*.

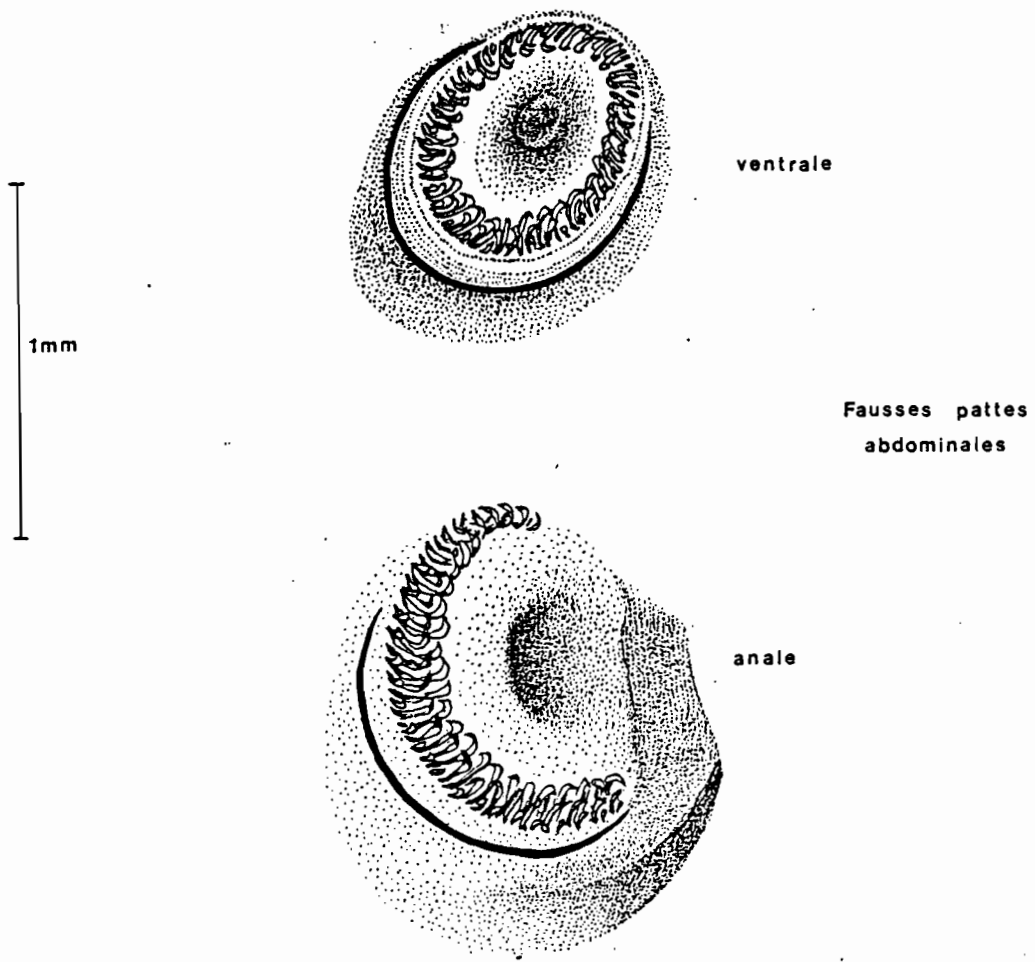
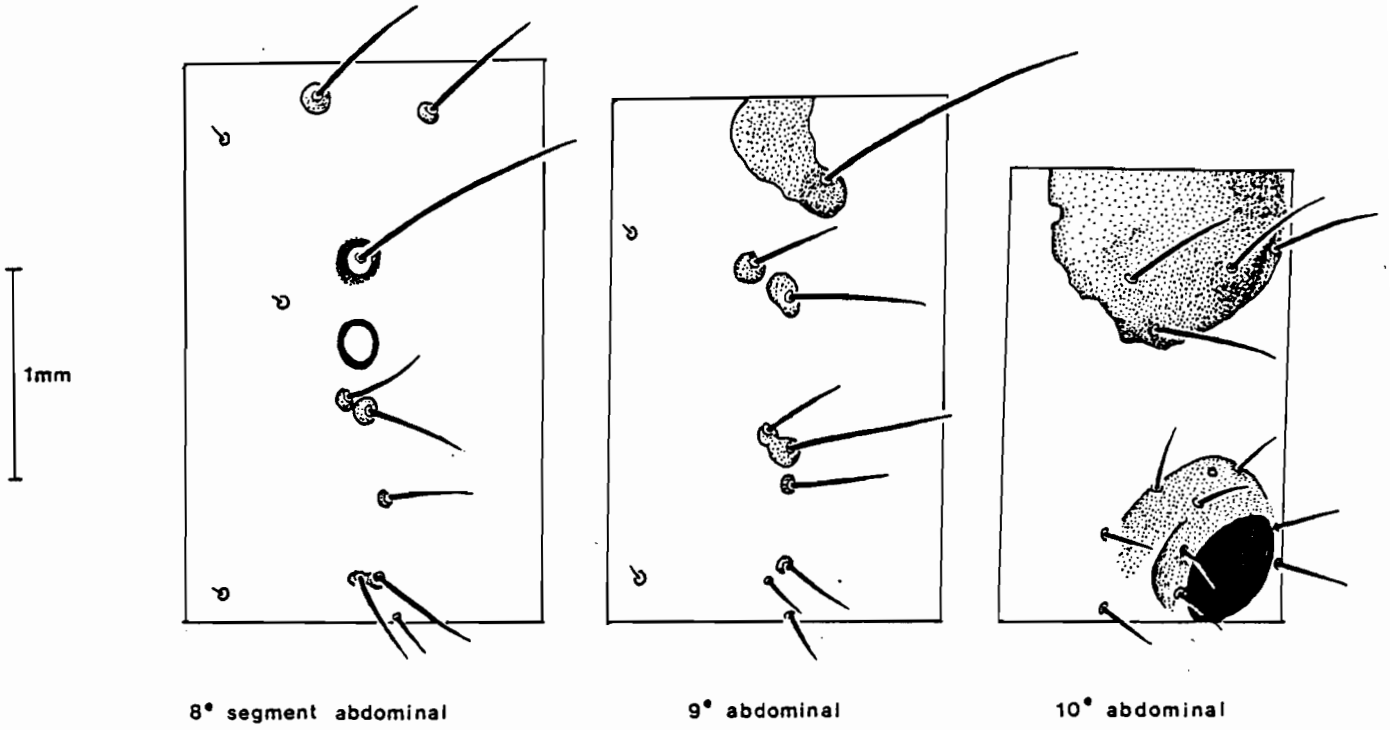


Figure n° 26

Chétotaxie de la capsule céphalique de *Cryptophlebia leucoteta* Meyr.

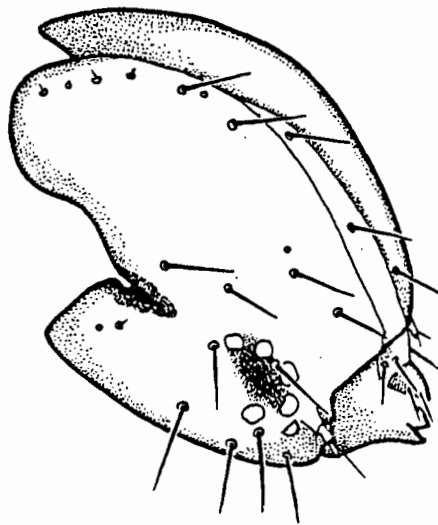
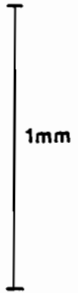
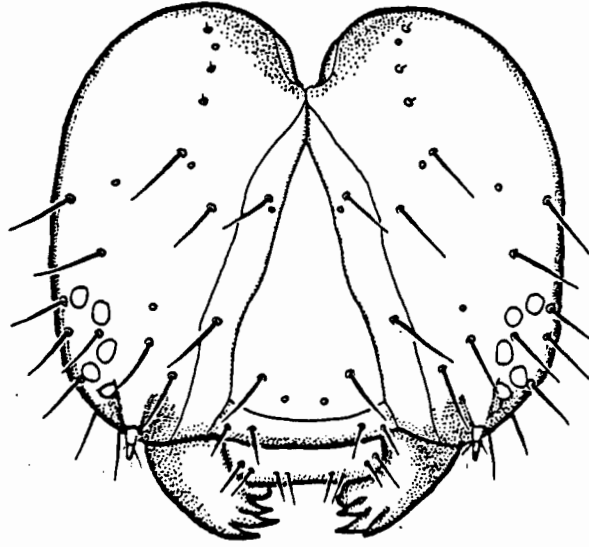


Figure n° 27

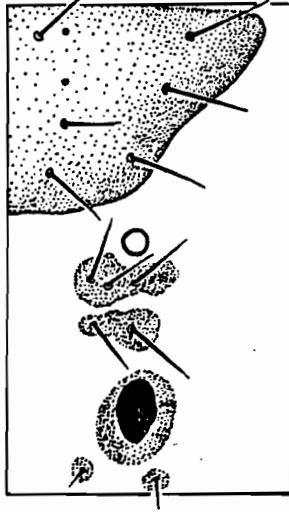
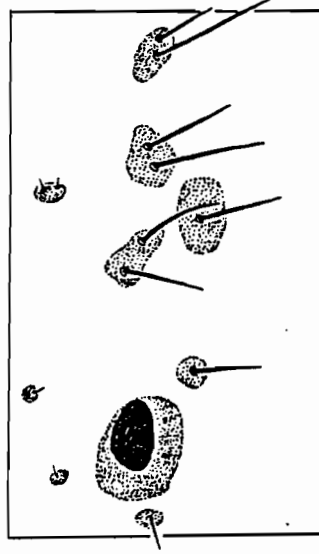
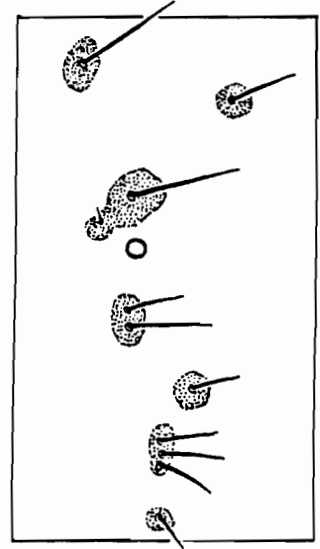
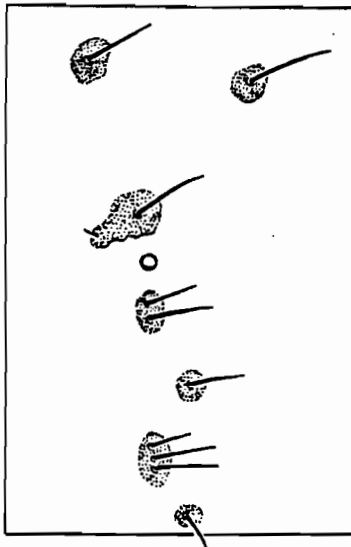
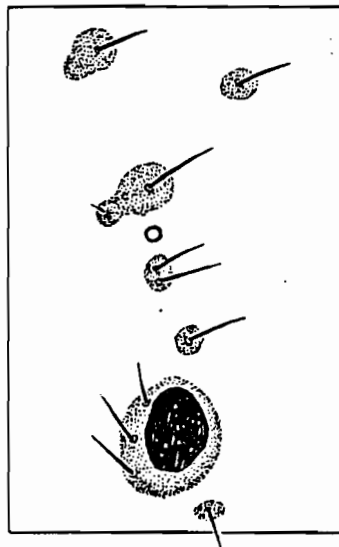
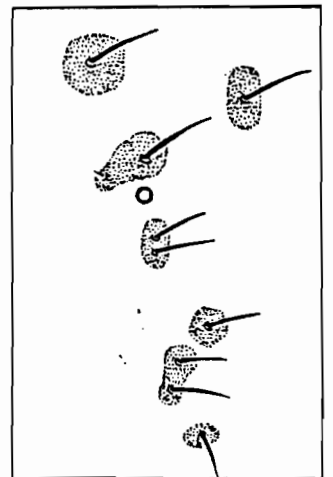
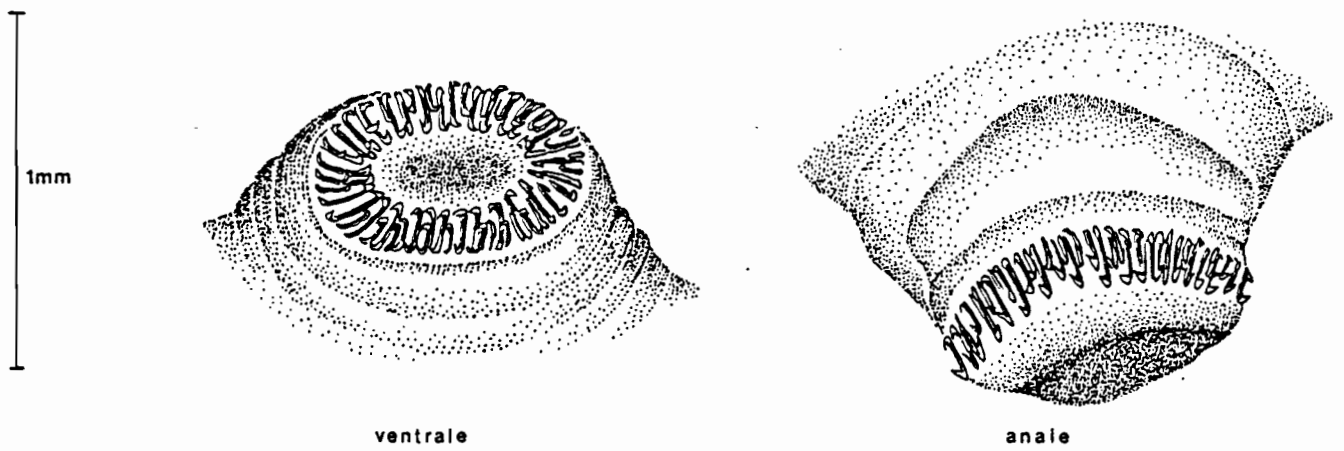
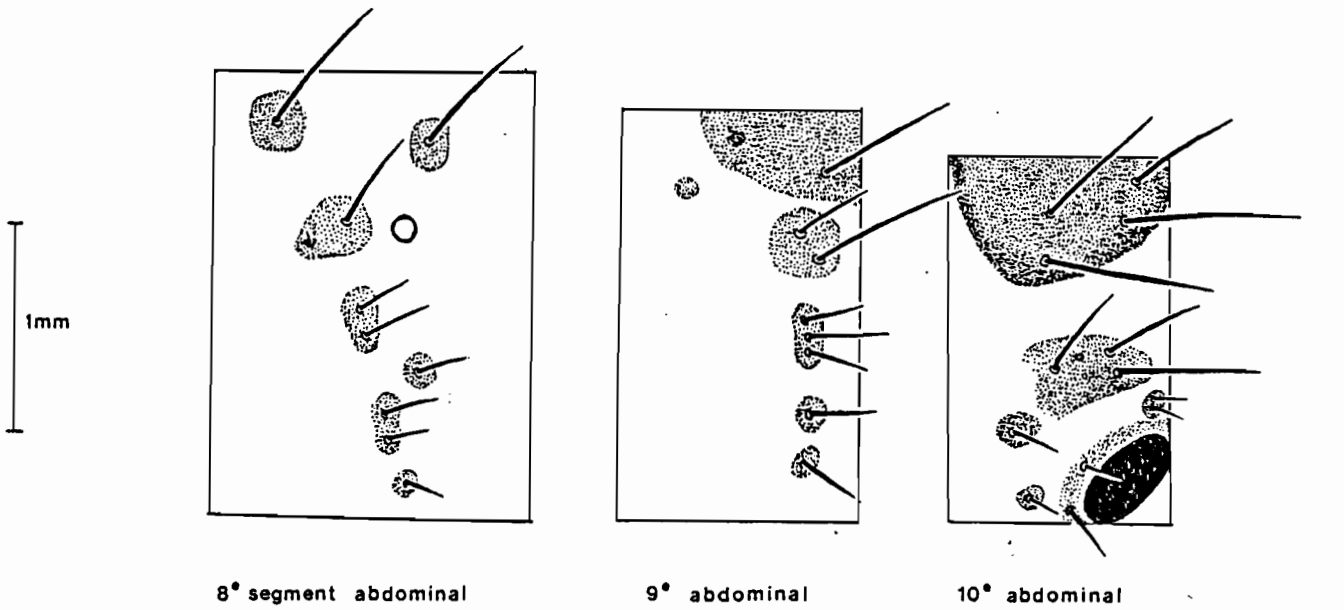
Chétotaxie segmentaire de *Cryptophlebia leucotreta* Meyr.1^{er} segment thoracique2^o (≅ 3^o) thoracique1^{er} segment abdominal2^o abdominal3^o (≅ 4^o, 5^o, 6^o) abdominal7^o abdominal

Figure n°27 (suite)

Chétotaxie segmentaire et fausses pattes de *C. leucofrela*.



Fausses pattes abdominales

Figure n° 28

Chétotaxie de la capsule céphalique de *Sesamia calamistis* Hmps.

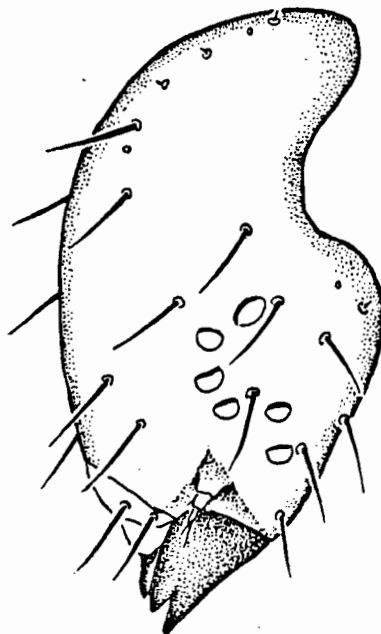
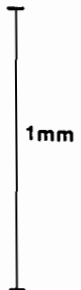
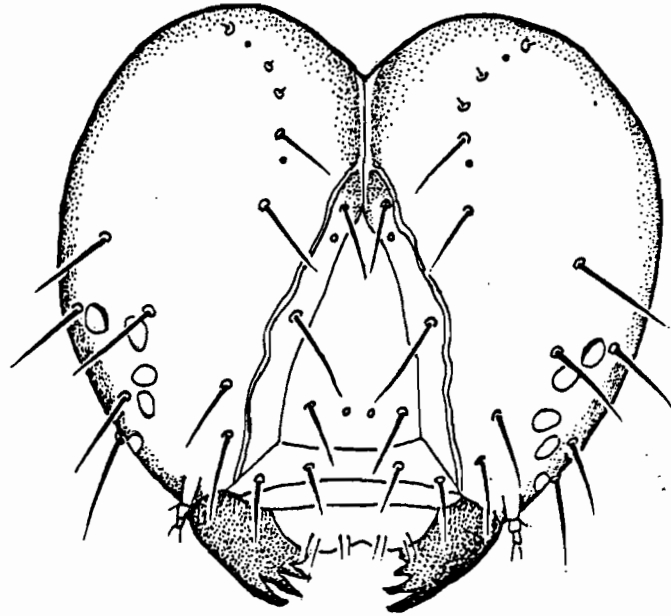


Figure n° 29

Chétotaxie segmentaire de *Sesamia calamistis* Hmps.

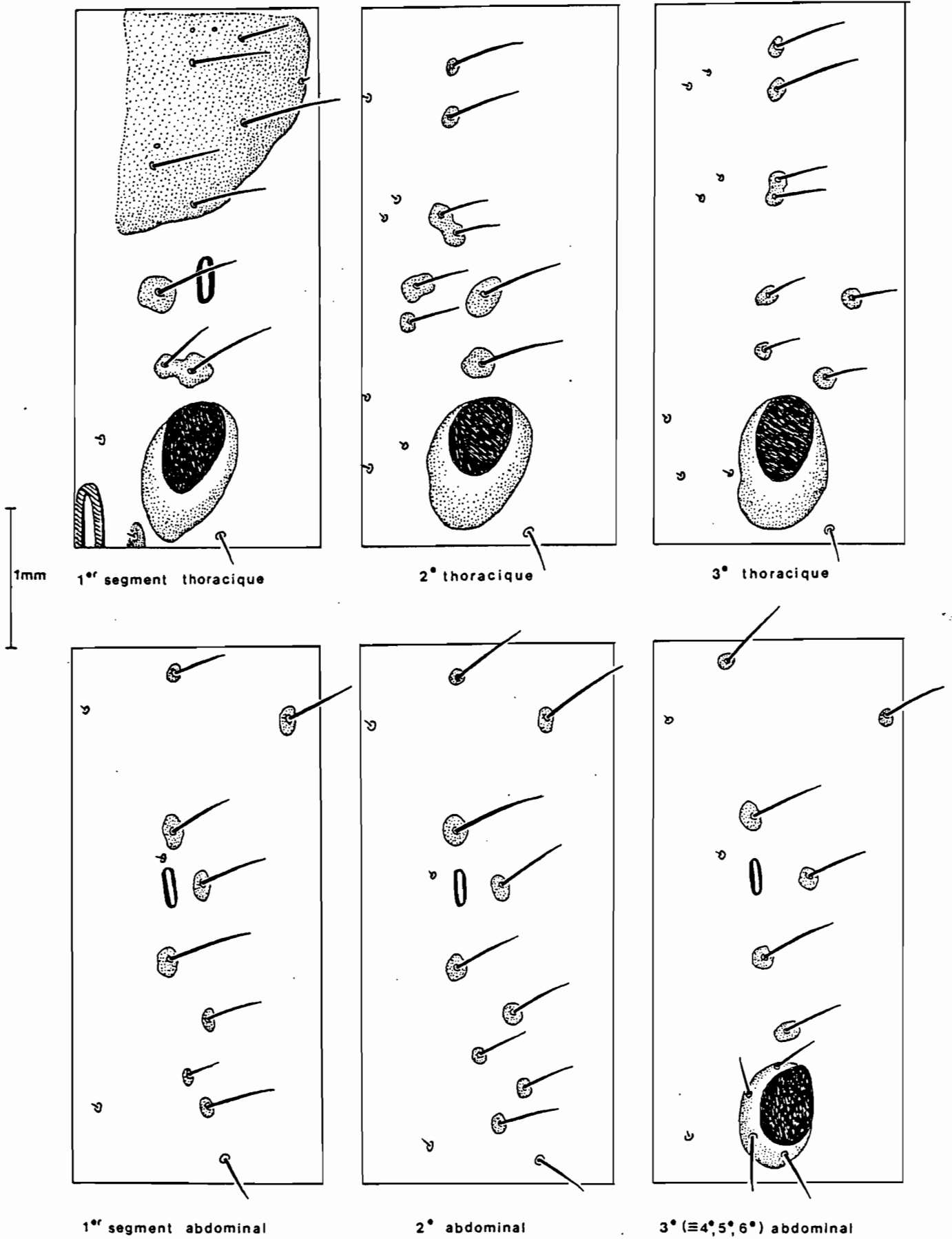
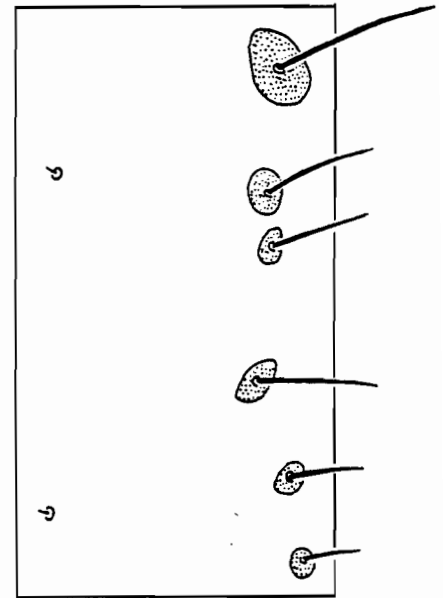
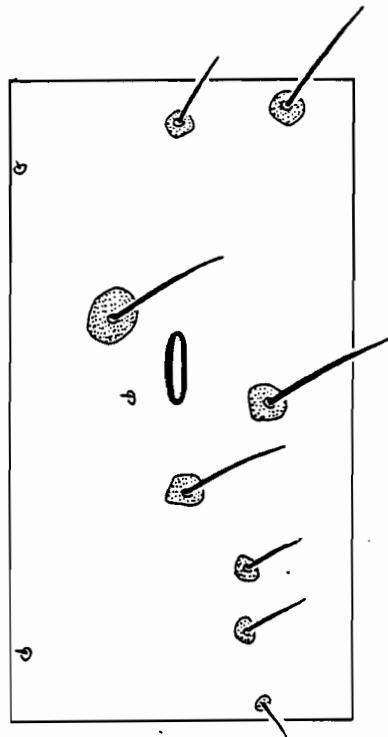
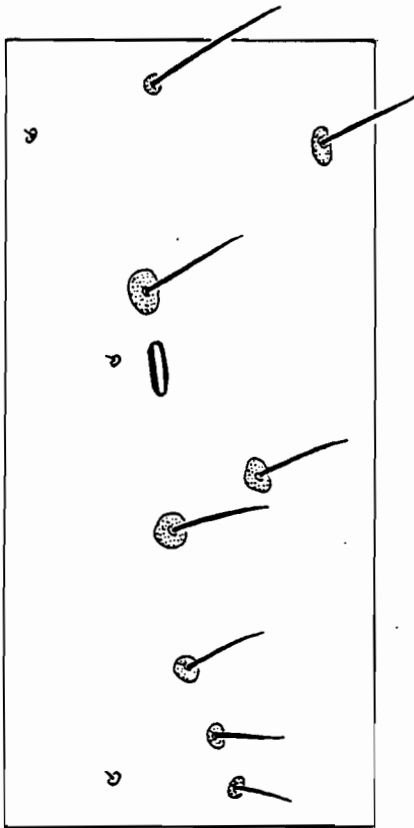


Figure n°29 (suite)

Chetotaxie segmentaire et fausses pattes de *S. calamitis*.

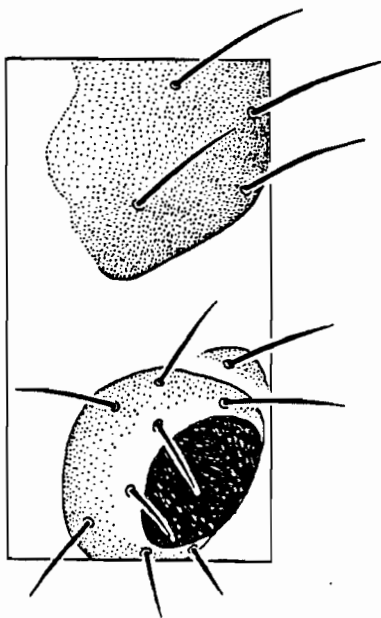


7° segment abdominal

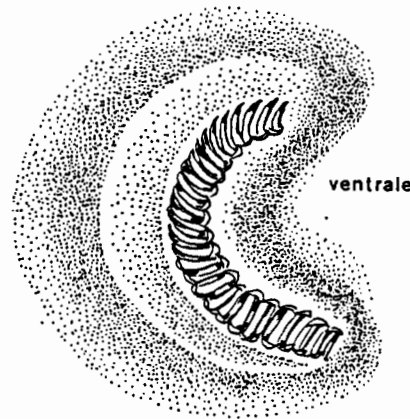
8° abdominal

9° abdominal

1mm



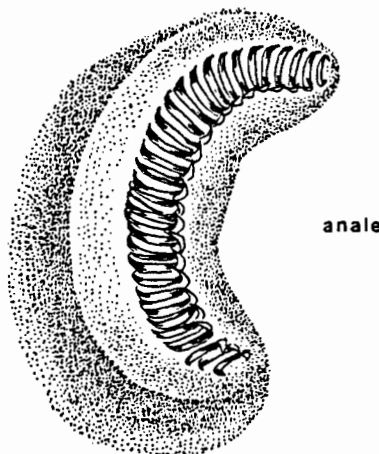
10° abdominal



ventrale

Fausses pattes abdominales

1mm



anale

Figure n°30

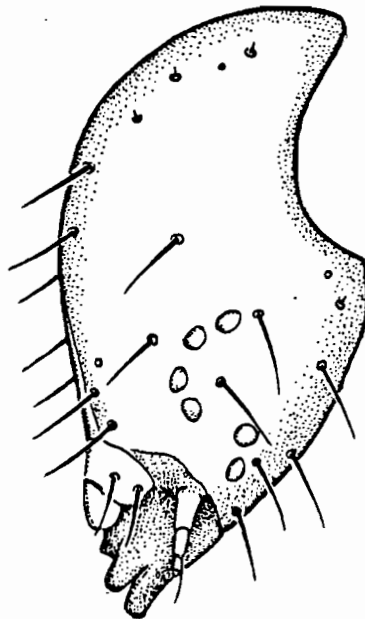
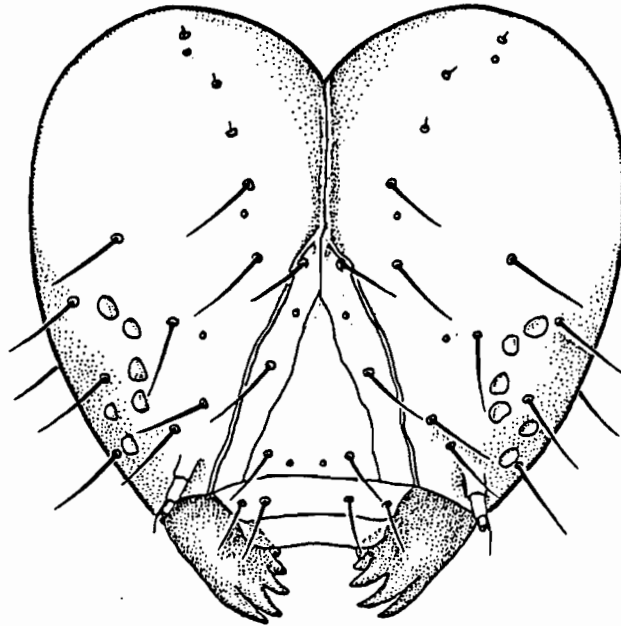
Chétotaxie de la capsule céphalique de *Busseola fusca* (Fuller)

Figure n°31

Chétotaxie segmentaire de *Busseola fusca* (Fuller).

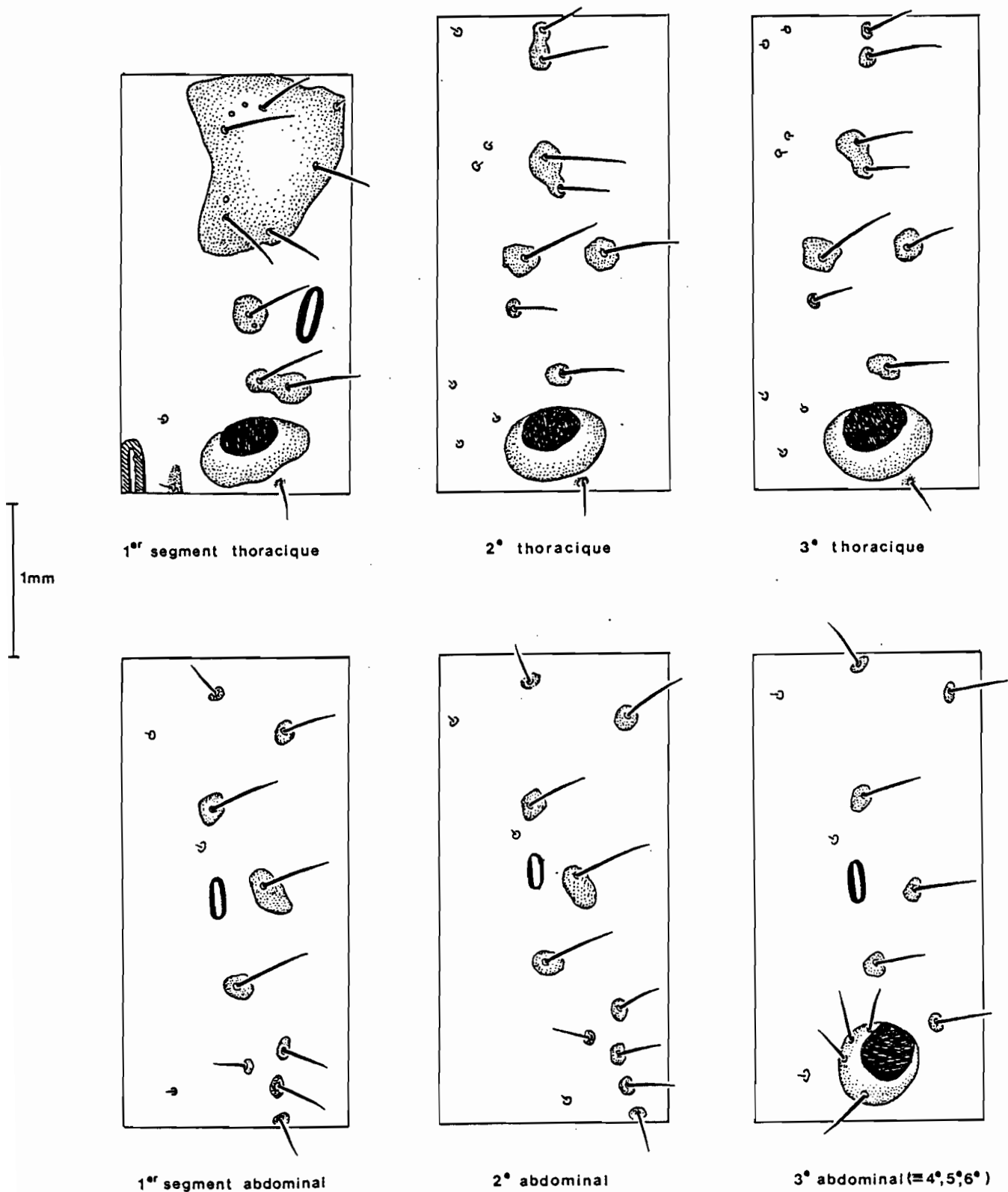
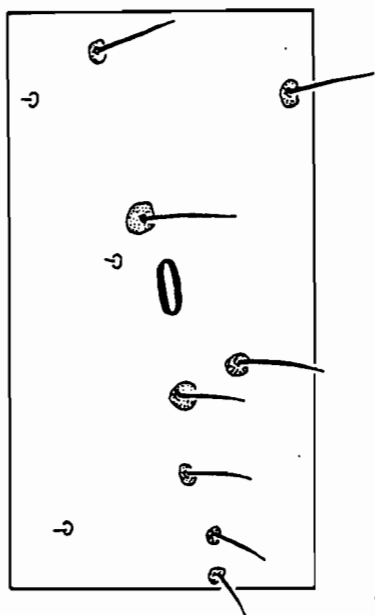
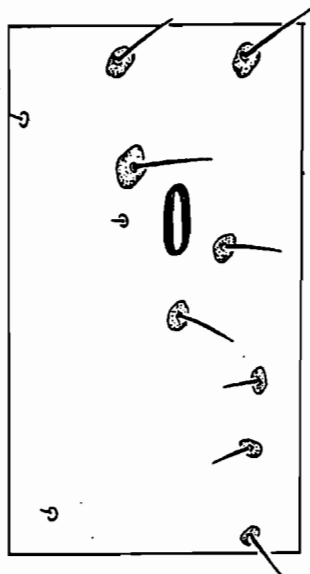


Figure n°31 (suite)

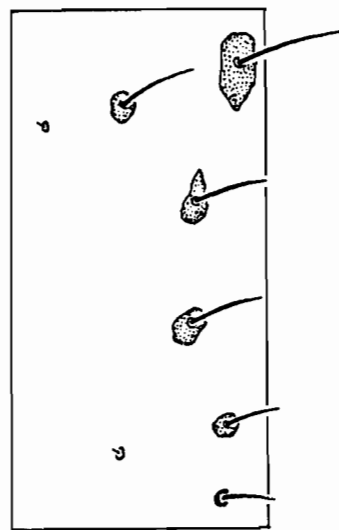
Chétotaxie segmentaire et fausses pattes de *B. fusca*.



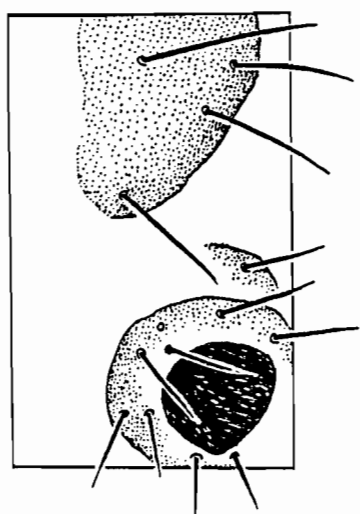
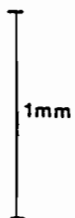
7° segment abdominal



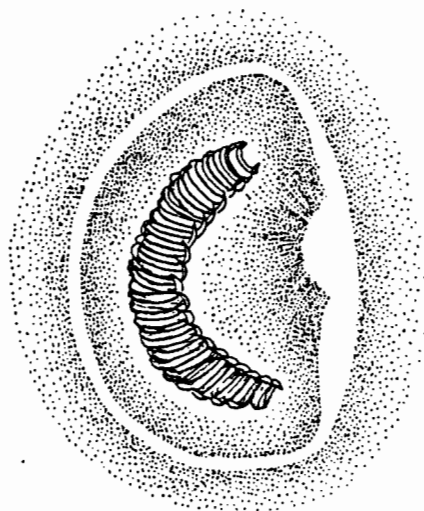
8° abdominal



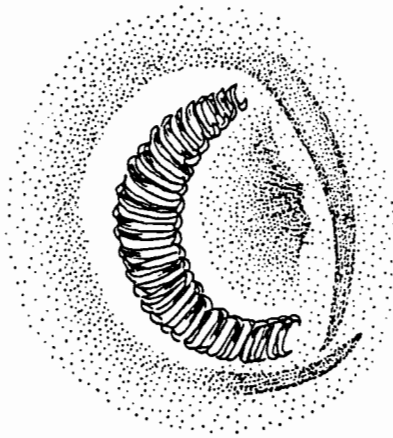
9° abdominal



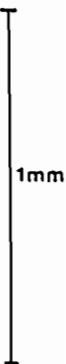
10° abdominal



ventrale



anale



Fausses pattes abdominales

Il est également très simple de faire la différence avec les deux espèces de noctuelles qui possèdent des pattes abdominales semi-coronates. La distinction entre Busseola fusca et Sesamia calamistis est, par contre, beaucoup plus difficile : ces deux espèces présentent des chétotaxies remarquablement proches ; il est impossible de les différencier par le nombre de soies. Il faut alors être plus précis et s'intéresser d'une part à la disposition des soies, et, d'autre part, aux traces indiquant l'emplacement de soies primaires secondairement disparues : nous avons ainsi pu remarquer deux différences nettes et se retrouvant régulièrement sur toutes les larves examinées :

1. Sur le pinnaculum latéral du prothorax de Busseola fusca on observe nettement l'emplacement initial de la soie L2 matérialisé par un petit cercle sclérifié, qui n'existe pas chez Sesamia calamistis.

2. Sur le 8e segment abdominal les deux soies longues dorsales et la soie microscopique dorsale sont disposées pratiquement en ligne droite chez S. calamistis alors que chez B. fusca la soie microscopique se trouve très en-dessous de la droite imaginaire qui relierait les deux soies dorsales.

Il est important de noter toutefois qu'une certaine variabilité peut exister au sein d'un même individu : nous avons rencontré une chenille de Sesamia ayant un segment portant une soie de plus sur un pleure que sur l'autre ; dans le cas d'Eldana, la soie microscopique dorsale du 9e segment abdominal appartient soit au sclérite de la soie dorsale longue qui lui est la plus proche (44 % des cas observés) (cas de la figure n° 23), soit en est séparée (28 % des cas), mais parfois, sur un même individu elle est située sur le même sclérite sur le flanc gauche, alors que sur le flanc droit elle en est bien séparée (28 % des cas observés) : il n'y a donc pas toujours régularité ni symétrie parfaite dans la taille des sclérites. Toutefois, le défaut de symétrie pour le nombre de soies semble très rare.

CONCLUSION

Nous connaissons à présent l'habitus des divers stades pré-imaginaux des foreurs du maïs rencontrés en zone des savanes de Côte d'Ivoire. Toutefois, l'habitus seul ne permet pas toujours une distinction sûre : ainsi, distinguer, à l'oeil nu, une jeune chenille de Busseola d'une Eldana de stade L4 est loin d'être chose facile. Un Busseola âgé peut parfois être confondu avec une Sesamia, alors que Cryptophlebia et Mussidia peuvent également apparaître fort semblables. L'étude de la structure coronate ou semi-coronate des pattes abdominales et de la chétotaxie larvaire que nous avons réalisée permet désormais de déterminer avec précision le foreur, et a mis en relief la très grande proximité morphologique de Busseola fusca et Sesamia calamistis qu'on ne peut distinguer par le seul nombre de soies, et pour lesquels il est nécessaire de s'intéresser à leur disposition.

Tableau n° 9

Nombre de soies longues (L) et microscopiques (M) segmentaires et caractéristiques des fausses pattes abdominales des chenilles du dernier stade des foreurs du maïs de la zone des savanes de Côte d'Ivoire.

	<i>Mussidia nigrivenella</i>	<i>Eldana saccharina</i>	<i>Cryptophlebia leucotreta</i>	<i>Busseola fusca</i>	<i>Sesamia calamistis</i>
1er segment thoracique	11L + 3M	11L + 1M	13L	9L + 3M	9L + 3M
2e segment thoracique	9L + 6M	9L + 6M	9L + 4M	9L + 6M	9L + 6M
3e segment thoracique	9L + 6M	9L + 6M	9L + 4M	9L + 7M	9L + 7M
1er segment abdominal	10L + 3M	11L + 2M	10L + 1M	9L + 3M	9L + 3M
2e segment abdominal	10L + 3M	11L + 2M	10L + 1M	10L + 3M	10L + 3M
3e segment abdominal (= 4,5,6)	10L + 3M	11L + 2M	10L + 1M	10L + 3M	10L + 3M
7e segment abdominal	9L + 3M	10L + 2M	9L + 1M	8L + 3M	8L + 3M
8e segment abdominal	9L + 3M	10L + 2M	9L + 1M	8L + 3M	8L + 3M
9e segment abdominal	9L + 2M	8L + 2M	8L	6L + 2M	6L + 2M
10e segment abdominal	13L	13L	13L	13L	13L
fausses pattes abdominales ventrales	Coronates tri-ordinales	Coronates tri-ordinales	Coronates bi-ordinales	semi-coronates uni-ordinales	semi-coronates uni-ordinales
fausses pattes anales	semi-coronates tri-ordinales	semi-coronates tri-ordinales	semi-coronates bi-ordinales	semi-coronates uni-ordinales	semi-coronates uni-ordinales

CONCLUSION

Les cinq foreurs s'attaquant au maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire sont donc décrits et dénommés. C'était évidemment là un préalable indispensable avant d'aborder les études de terrain. Et pourtant, nous l'avons vu avec le cas de Mussidia nigrivenella Ragonot, cet élément de base n'est pas toujours simple à obtenir pour l'entomologiste agricole travaillant en milieu tropical. Délaissant l'écologie, la lutte... Ce dernier doit également étudier la morphologie pour tenter d'y voir plus clair dans une systématique parfois confuse.

Ce qui est vrai pour les adultes l'est sans doute encore plus pour les larves, pour lesquelles nous donnerons, pour mettre un terme à cette partie, un exemple supplémentaire des difficultés que l'on peut rencontrer.

Si, en effet, les observations que nous avons effectuées sur la larve de Mussidia nigrivenella Rag. concordent avec la description de Aitken (1963), il n'en va pas de même pour notre Sesamia calamistis Hmps. qui diffère quelque peu de celle rencontrée par Williams (1953) à l'île Maurice : cette dernière espèce présente les mêmes caractéristiques chétotaxiques que Busseola fusca en Côte d'Ivoire à l'exception d'une trace de soie SD1 existant en plus sur le prothorax de l'espèce mauricienne ; mais la trace de L2 ainsi que la disposition des soies dorsales du 8e segment abdominal correspondent à notre Busseola et non à notre Sesamia calamistis. Cette constatation est à rapprocher du commentaire de Tams et Bowden (1953) : "S. calamistis is a widely distributed and very variable species". L'adulte de cette espèce présente des variations dans la coloration et dans la forme de certaines parties des genitalia. Toutefois, bien que les formes de l'Afrique de l'Ouest, par exemple, diffèrent de celles de l'Afrique de l'Est, il est possible de trouver toutes les formes intermédiaires et on ne peut donc distinguer diverses sous-espèces.

Cette variabilité incite donc à n'utiliser notre description que pour les insectes de notre région et permet de conclure que, dans ce cas précis, les observations effectuées sur des insectes d'autres contrées sont inutilisables en Côte d'Ivoire.

Un autre exemple est la description par Stofberg (1948) de la larve d'Argyroploce leucotreta (aujourd'hui Cryptophlebia leucotreta) en Afrique du Sud : la chétotaxie segmentaire ne diffère pas de celle que nous avons observée (mis à part le fait que Stofberg ne représente pas les soies microscopiques) mais, par contre, Stofberg trouve 4 soies frontales sur la capsule céphalique alors que nous n'en voyons que 2 : il pense d'ailleurs que les deux soies supplémentaires, qu'il appelle f4, sont peut-être secondaires. Mais l'on pourrait se demander également s'il s'agit bien là de la même espèce, puisque l'on sait, par exemple, que des phéromones synthétisées de Cryptophlebia leucotreta à partir d'insectes d'Afrique du Sud sont efficaces dans ce pays et inefficaces en Côte d'Ivoire (Angelini et Le Rumeur, 1978).

Toutes ces remarques soulignent la complexité du problème et la nécessité d'études régionales car ce qu'on observe en Afrique du Sud ou à l'île Maurice ne semble généralement pas transposable en Afrique de l'Ouest. Bien plus, nous verrons dans la partie suivante que, dans certains cas, même au niveau d'une région, des différences d'écologie d'une espèce donnée incitent à se poser des questions sur l'unicité de l'espèce en question.

Il convient donc de bien noter que les descriptions réalisées concernent les foreurs du maïs dans la zone des savanes de Côte d'Ivoire, et qu'elles ne sont peut-être plus valables, du moins pour certaines d'entre elles, dans les pays environnants.

TROISIEME PARTIE :

DONNEES BIOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES

INTRODUCTION

La biologie et l'écologie des divers foreurs du maïs constituent deux vastes domaines d'études. Les parcourir exhaustivement excédait le cadre de notre travail, que nous souhaitons borner à une connaissance suffisamment précise de la distribution géographique des principaux ravageurs, de leur importance dans les diverses zones de savanes, et des fluctuations de leurs populations.

Les foreurs des tiges ont d'ailleurs fait l'objet de recherches assez approfondies d'écologie et de biologie : Dabiré (1980) a étudié Eldana saccharina Walker, et effectué un inventaire des autres foreurs du maïs rencontrés dans ses essais, et Odjo (1984) a étudié Sesamia calamistis Hampson. Dabiré indique qu'à Bouaké, en zone des savanes, E. saccharina "est le ravageur du maïs le plus important" alors que les "populations (de Sesamia calamistis) ainsi que celles de Busseola demeurent très faibles". Elle cite, d'autre part, deux foreurs de l'épi, Cryptophlebia leucotreta et Mussidia nigrivenella qui "provoquent des pertes non négligeables d'autant que Mussidia peut se reproduire dans les lieux de stockage" ; Mussidia est mentionné comme étant le principal ravageur de l'épi.

Nous avons donc orienté nos études de biologie et d'écologie en fonction des résultats déjà acquis : les principaux foreurs des tiges ayant déjà fait l'objet d'études, nous avons simplement cherché à préciser l'évolution de leurs populations dans les diverses régions de savanes de Côte d'Ivoire. Les données biologiques qui seront mentionnées sont essentiellement d'origine bibliographique. En ce qui concerne les foreurs de l'épi, par contre, nous avons étudié de façon plus détaillée la biologie et l'écologie de Mussidia nigrivenella Rag., qui est un insecte très peu connu, aussi bien en Côte d'Ivoire que dans le reste de l'Afrique.

Chapitre 1LES FOREURS DE LA TIGEINTRODUCTION

Au cours des diverses dissections de maïs que nous avons réalisées dans la zone des savanes de Côte d'Ivoire, nous avons rencontré trois espèces de foreurs : Eldana saccharina Walker, Sesamia calamistis Hampson et Busseola fusca (Fuller). Ces espèces peuvent, en réalité, se rencontrer également dans les épis de maïs, mais c'est toujours en quantité moindre que dans la tige, qui constitue réellement leur domaine d'élection : les insectes rencontrés dans l'épi proviennent en général de la tige ; mais on doit toutefois noter que nous avons constaté des attaques directes au niveau de l'épi par Eldana saccharina : cet insecte pond sur les spathes lorsque l'attaque a lieu très tardivement, sur un maïs déjà desséché. Les divers recensements de populations que nous effectuerons dans ce chapitre ne concernent que les foreurs rencontrés dans les tiges.

1. CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

Les principales caractéristiques concernant le développement des divers foreurs de tige rencontrés dans la zone des savanes de Côte d'Ivoire sont indiquées dans le tableau n° 10. Les données ayant trait à Eldana saccharina proviennent de Dabiré (1980), celles ayant trait à Sesamia calamistis sont issues de Odjo (1984). Busseola fusca n'a pas fait l'objet d'études de biologie en Côte d'Ivoire, mais cet insecte, très important dans de nombreux pays d'Afrique, a fait l'objet de recherches de la part de plusieurs auteurs auxquels nous avons emprunté ces données biologiques : Smithers (1960), Harris (1962), Ingram (1968), Kranz et al (1977).

Ce tableau permet de constater que, si le comportement de ponte est régulier chez S. calamistis et B. fusca, il est très variable chez E. saccharina.

Tableau n° 10

Caractéristiques biologiques concernant le développement des divers foreurs des tiges du maïs des zones de savane de Côte d'Ivoire

EPECES	Nombre d'oeufs pondus par une femelle	Ponte		Stades larvaires		Nymphose Durée et présence ou non de cocon	Durée de la vie imaginaire	Durée du cycle de l'oeuf à l'adulte
		Localisation	Durée de l'incubation	Nombre	Durée du développement larvaire			
<u>ELDANA SACCHARINA</u>	140 à 800	très variable suivant le stade phénologique de la plante *	5 à 8 jours	5 ou 6	25 à 28 jours à 28-30°C et 50-70 % HR	8,4 jours présence d'un cocon	4 à 12 jours	38 à 45 jours
<u>SESAMIA CALAMISTIS</u>	140 à 580	à l'intérieur de la gaine des feuilles	6 à 7 jours	8 pour les mâles, 9 pour les femelles	36 à 57 jours à 28-30°C et 50-70 % HR	13-14 jours pas de cocon	3 à 5 jours	55 à 78 jours
<u>BUSSEOLA FUSCA</u>	400	A l'intérieur de la gaine des feuilles	6-7 jours	6 à 7 (1 ou 2 de plus pour les larves diapausantes)	26 à 50 jours	9-14 jours pas de cocon	3 à 11 jours	41 à 71 jours

* A l'intérieur de la gaine foliaire sur maïs jeune ; à la jonction gaine-feuille sur maïs plus âgé ; éventuellement sur les spathes de l'épi sur maïs mûr.

Dabiré (1980) indiquait que "la plupart des femelles d'E. saccharina (...) déposent leurs pontes sur la bordure externe de la gaine foliaire, à l'endroit où la feuille commence à se détacher de la tige".

En réalité, nous avons constaté que cette localisation de la ponte ne se rencontre qu'à partir d'un certain stade phénologique de la plante, correspondant à environ 50 à 60 jours après la levée. Lorsque les attaques d'Eldana ont lieu en tout début de cycle, la ponte est à l'intérieur de la gaine foliaire, tout comme celle de Busseola ou de Sesamia. Et lorsque l'attaque a lieu très tardivement, la ponte peut avoir lieu sur l'épi, comme celle de Mussidia nigrivivella. Il y a donc une adaptation de l'insecte au stade phénologique du maïs.

La durée du cycle, de l'oeuf à l'adulte, est en général d'environ deux mois pour Busseola et Sesamia et d'environ 40 jours pour Eldana. Cette durée de cycle, qui s'ajoute à un comportement de ponte très figé, ne permet le développement que d'une seule génération de Busseola et de Sesamia durant le cycle de culture. Par contre, Eldana, peut, en cas d'attaque très précoce, accomplir deux cycles complets si le maïs n'est pas détruit à la récolte, ou si l'attaque atteint l'épi.

2. CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES

2.1. Méthodologie

Notre objectif principal était, ainsi que nous l'expliquions en introduction, de préciser les fluctuations spatio-temporelles des divers foreurs. Simultanément l'étude de méthodes de lutte (voir 4e partie) et de la nuisibilité des foreurs (voir 5e partie) était entreprise. Les données de fluctuation des populations ont donc été recueillies sur des parcelles, non-traitées chimiquement, d'essais insecticides. La technique d'échantillonnage est précisée dans le protocole fourni en Annexe 1.

Nous inspirant en premier lieu de la thèse de Dabiré (1980), nous avons commencé par un suivi en fin de cycle (1982), qui nous est apparu insuffisant à l'examen des résultats obtenus. En 1983 nous avons donc débuté les relevés au

milieu du cycle, pour enfin, en 1984, réaliser un suivi, dès le 20e jour après levée, qui était apparu, après analyse des essais de 1983, le seul procédé susceptible de permettre une compréhension correcte des fluctuations de populations (voir en 4e partie pour plus de précisions sur l'évolution du dispositif expérimental).

2.2. Résultats

Les principaux résultats obtenus sont présentés sous forme de graphiques. Les niveaux de population sont indiqués en nombres d'insectes par tige, et non pas en nombre d'individus à l'unité de surface : si, en début de cycle, du maïs, les densités de plants sont les mêmes (62500 pieds à l'hectare), il n'en va pas toutefois de même en fin de cycle, en particulier lorsque l'attaque a été précoce et a détruit nombre de pieds. Nous avons donc donné, à titre de comparaison, l'évolution des densités réelles en 1984 dans quatre des cinq localités où ont été effectués les relevés d'évolution des populations (figure n° 39). On pourra constater qu'à Daoukro, où la densité des plants est très affectée par l'attaque violente de début de cycle, la densité d'insectes au mètre carré est inférieure à celle de Béoumi au 80e jour après levée (JAL), atteignent 35 insectes à Daoukro contre 45 à Béoumi ; alors que le nombre d'insectes par tige est de 9 foreurs à Daoukro pour 8 à Béoumi.

Dans toute notre étude, nous avons opté pour le choix "nombre d'insectes par tige" plutôt que pour la densité de foreurs au mètre carré. Le nombre d'insectes par tige est, en effet, une notion plus "pratique", plus concrète : on juge plus aisément d'un niveau d'attaque lorsque l'on sait qu'il y a, par exemple, 11 insectes par tige à Daoukro au 40e jour plutôt que lorsque l'on sait qu'il y a 556 500 foreurs par hectare.

Le problème de la comparaison des deux types de données ne se pose d'ailleurs en réalité qu'en fin de cycle : en effet, jusqu'au 60e jour après levée, les densités varient assez peu, même dans le cas d'attaques fortes : ainsi, à Daoukro, la densité au 60e JAL est de 19 % plus faible qu'à 20 JAL, mais elle est à 100 JAL de 38 % plus faible qu'à 20 JAL. A Gohitafila, où il y a eu une certaine attaque précoce, à 60 JAL la densité a chuté de 10 % et à 100 JAL de 30 % par rapport à la densité à 20 JAL. A Béoumi, par contre, où l'attaque est très faible à 20 JAL, la densité à 100 JAL n'a chuté que de 10 %.

Les figures n° 32 à 38 indiquent donc, d'une part, l'évolution des attaques totales suivant les cycles et les années, en prenant pour exemple le relevé du 80e jour après levée ; d'autre part, la distribution des divers foreurs rencontrés dans chaque localité étudiée ; enfin l'évolution des attaques au cours du cycle unique. Il est à noter qu'à Daoukro, en 1983, la sécheresse a détruit le maïs très rapidement, et les relevés n'ont pu être effectués qu'aux 14e et 30e jours. Il s'agissait d'ailleurs, dans ce cas précis, d'un cycle de culture tout à fait anormal, la levée n'ayant pu avoir lieu qu'en septembre en raison de l'absence de pluies auparavant.

2.3. Discussion

2.3.1. La répartition géographique des divers foreurs

Les figures n° 32 à 34 permettent de préciser la répartition géographique des divers foreurs de la tige : des trois insectes, Busseola fusca est celui qui possède l'aire de répartition la plus réduite ; certes, on peut le rencontrer dans toute la zone des savanes, à raison de quelques individus isolés dans certaines localités, en particulier certaines années favorables (par exemple 5 Busseola pour 100 tiges à Korhogo en 1984), mais son domaine géographique de prédilection est incontestablement la zone sud-sud-est, où la forêt prend peu à peu le pas sur la savane. Ses populations peuvent atteindre à Daoukro des niveaux impressionnants, avec près de 6 insectes par tige au 80e JAL en 1984 durant le cycle unique. On le retrouve encore à Gohitafla, où il reste toutefois à moins de 1 insecte par tige : il est déjà alors à la limite de son aire d'extension. En ces deux localités, situées les plus au sud de notre zone d'étude, Busseola est régulier, et peut être important en avant-culture comme en cycle unique : ainsi, en 1984, on trouve en avant-culture à Gohitafla 1,9 Busseola par tige au 80e JAL, qui représentent alors 95 % des foreurs présents ; en cycle unique, les populations de Busseola ont diminué, n'atteignant plus que 0,15 insecte par tige à 80 JAL. A Daoukro, en avant-culture on rencontre 2 Busseola par tige à 80 JAL et les populations continuent à croître en cycle unique puisque les dissections fournissent alors près de 6 Busseola par tige à 80 JAL.

Figure n° 32

Importance des divers foreurs de la tige à 80 JAL

en cycle unique 1982

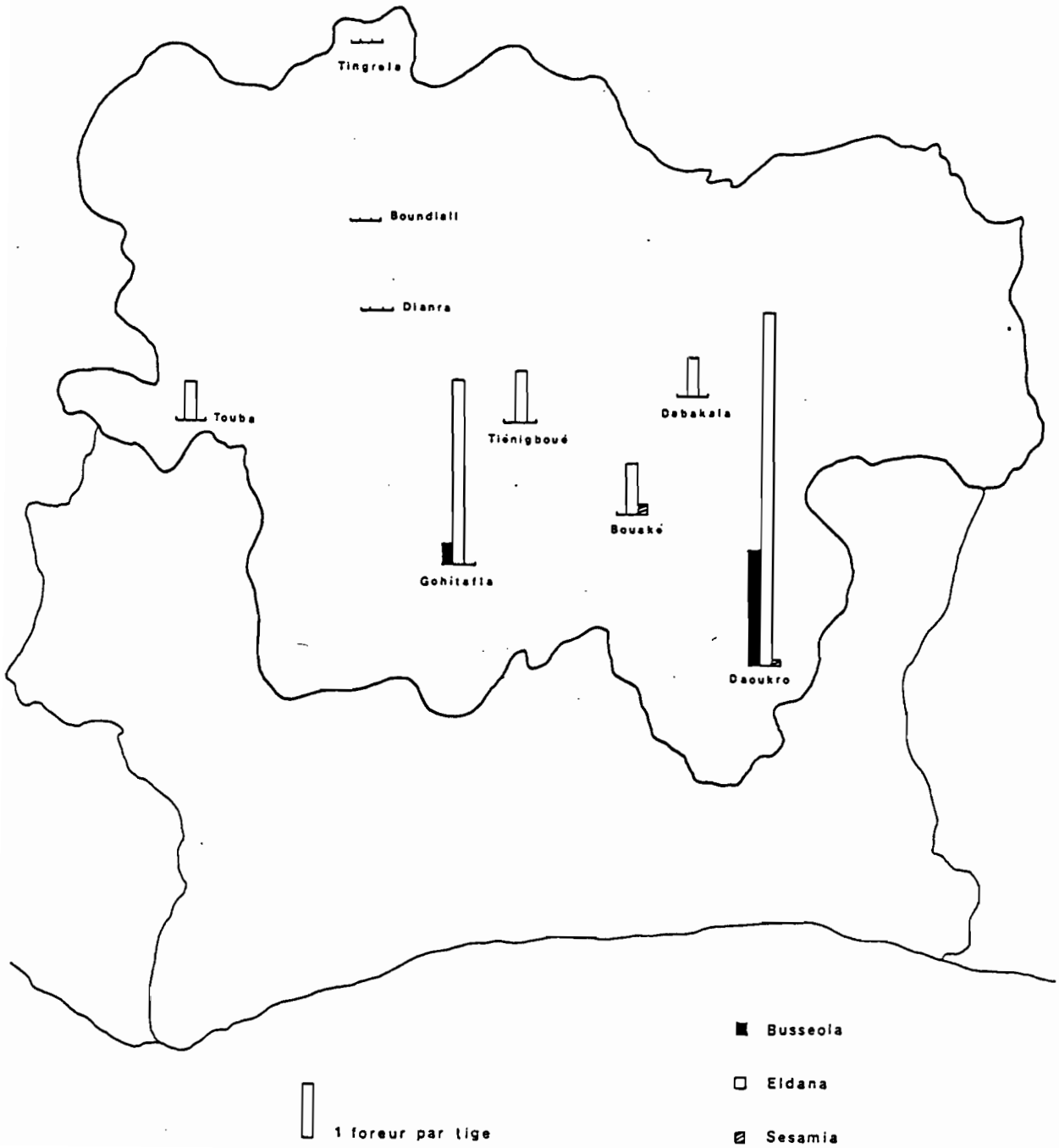


Figure n°33

Importance des divers foreurs de la tige à 80 JAL
en cycle unique 1983

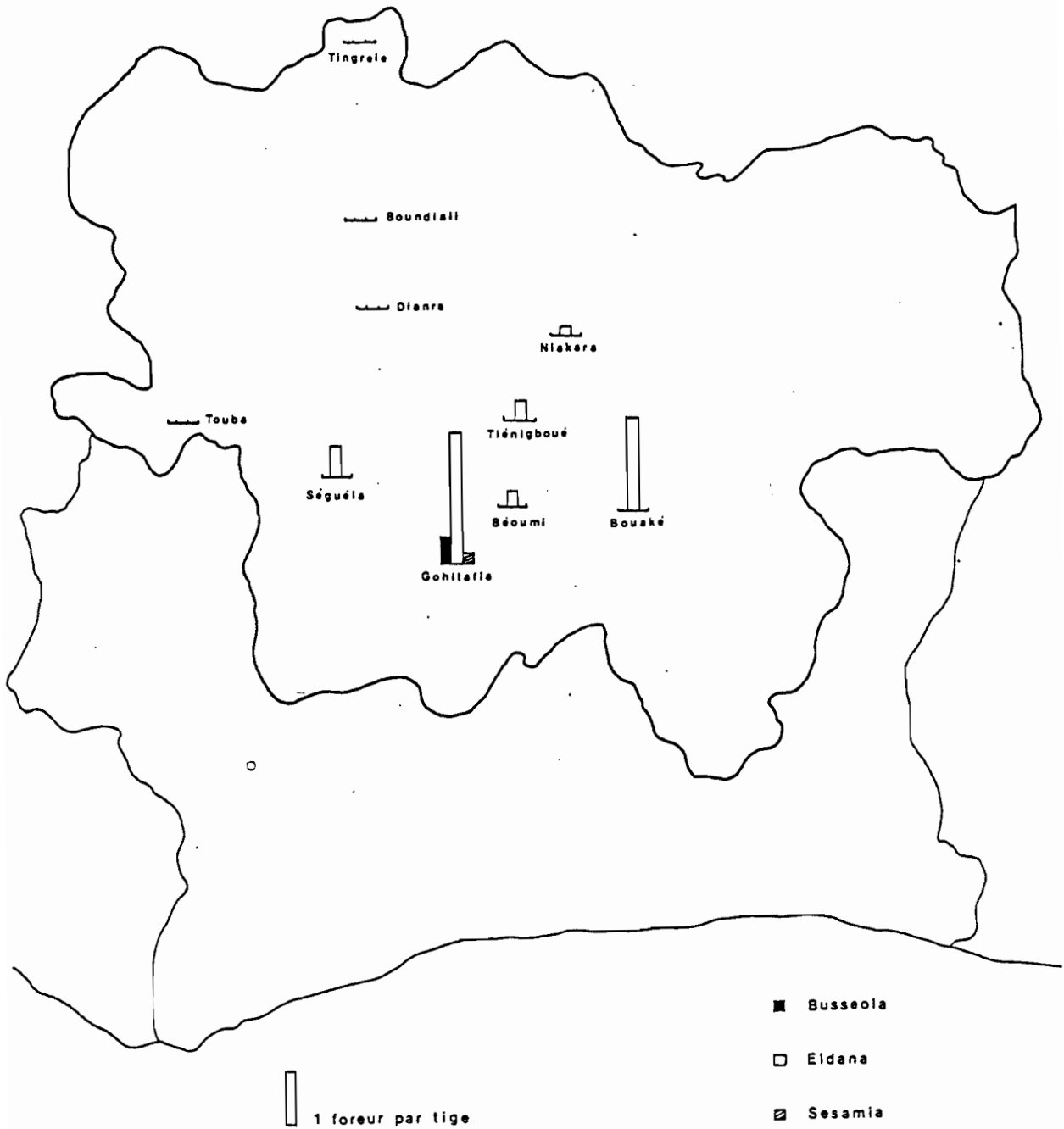
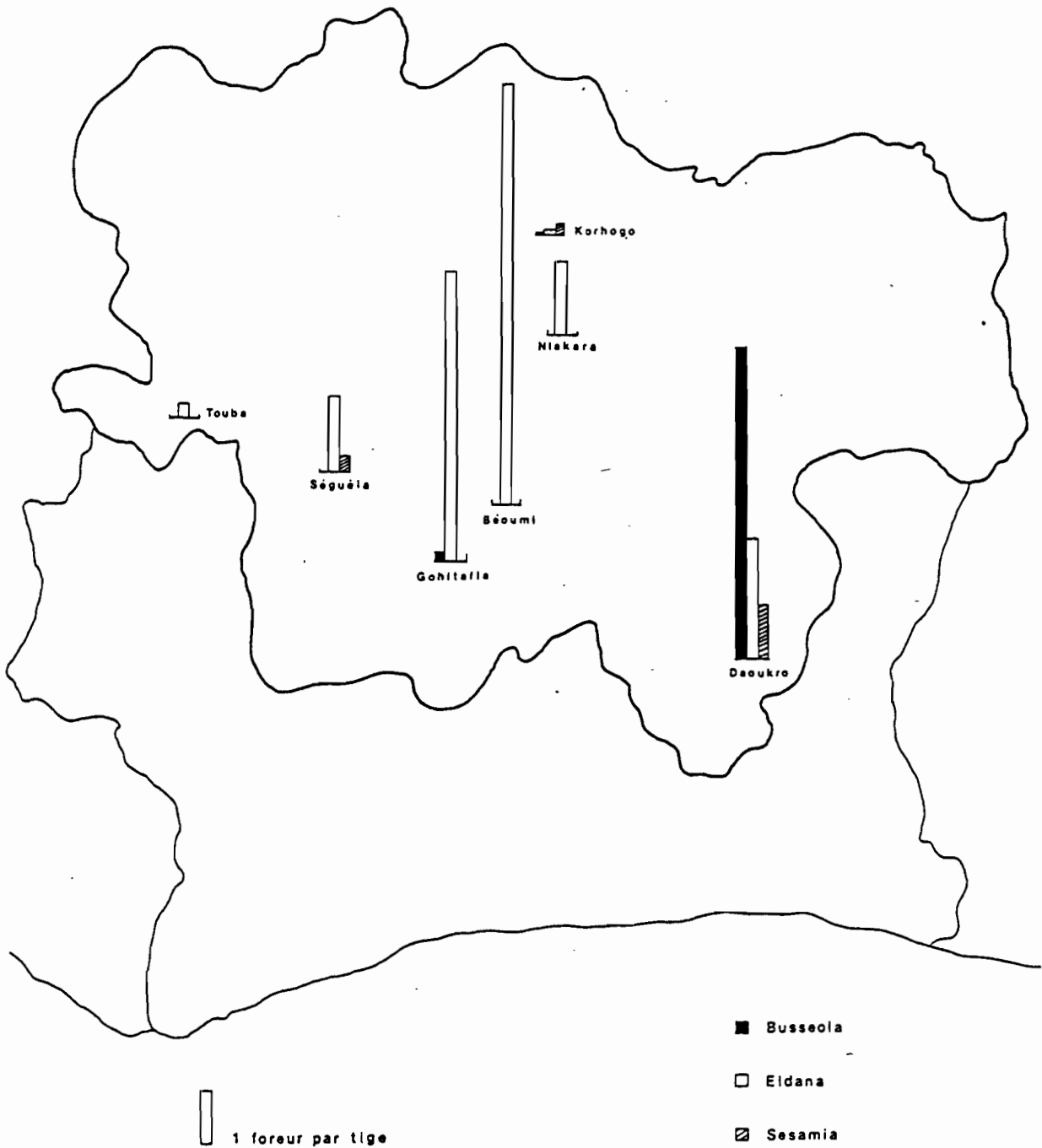


Figure n° 34

Importance des divers foreurs de la tige à 80 JAL

en cycle unique 1984



Il semble donc bien que Busseola ait une aire de distribution très bien circonscrite en Côte d'Ivoire : en effet ni Dabiré (1980) ni Pollet et Al (1978) n'ont rencontré Busseola sur le centre ORSTOM d'Adiopodoumé, situé près d'Abidjan : Busseola serait donc concentré dans le secteur mésophile du domaine guinéen, au niveau des savanes guinéennes, mais essentiellement à l'est de la zone. Il serait absent ou très rare dans le secteur ombrophile, de même qu'il est rare dans le domaine soudanais, ainsi qu'à l'ouest du secteur mésophile du domaine guinéen. Cette distribution géographique rejoint celle mentionnée par Tams et Bowden (1953), qui indiquent qu'en Afrique de l'Ouest, Busseola "is most serious in the wetter areas of the Tree Savannah and is less important in or even absent from the drier region of the Thorn Scrub Savannah. It does not appear to occur at all in the southern rain-forest country".

Il est d'ailleurs intéressant de noter que, selon Harris (1962) c'est l'inverse qui se produit au Nigéria : "Busseola fusca is abundant in the drier region of the Tree Savannah and is a major pest in those parts of the Thorn Scrub Savannah where guineacorn is extensively grown". Harris constate également, à la suite de Ingram (1958), que les populations de Busseola diminuent dans les zones de moindre densité humaine et donc de plus faible mise en culture des terres. La distribution de Busseola mentionnée par Harris rejoint celle indiquée par Jepson (1951, in Tams and Bowden 1953). Il serait donc fort intéressant de déterminer les facteurs qui limitent l'extension géographique de Busseola fusca en Côte d'Ivoire. Ce n'est certainement pas l'importance des cultures-hôtes dans le nord de la Côte d'Ivoire, où le maïs est plus important que dans le centre (voir première partie) et où l'on trouve également du sorgho que l'on ne cultive pas dans le centre. S'il s'agit effectivement de la même espèce qu'au Nigéria, les facteurs climatiques ne devraient pas être en cause, puisque c'est dans les zones les plus sèches que Busseola est le plus dangereux au Nigéria. Le parasitisme n'est pas en cause puisqu'il y a absence de ponte dans les zones de Côte d'Ivoire où on ne trouve pas de Busseola. Faut-il attribuer cette répartition si contradictoire aux plantes-hôtes sauvages, aux modes de culture, ou bien plutôt à des populations adaptées à des conditions écologiques très différentes et qui pourraient être assimilées à des espèces jumelles ? On ne peut, pour l'instant, que poser une question à laquelle seules des études appropriées pourront apporter une réponse.

Eldana saccharina Walker possède une aire de répartition beaucoup plus importante : lorsqu'une attaque est détectée sur maïs, il y a toujours Eldana saccharina. Il n'existe pas de localités, durant les trois années de notre étude, où des attaques de foreurs sur maïs étaient dues exclusivement à d'autres foreurs, du moins en cycle unique. En avant-culture, les populations d'Eldana sont, en majorité, très faibles, voire inexistantes : à Daoukro et Gohitafla, en 1982, on n'a pas trouvé d'Eldana alors qu'en 1984, où le premier cycle était très attaqué, on ne trouvait que 6 chenilles d'Eldana dans 100 tiges à Gohitafla et 33 à Daoukro. Une exception notable est à signaler toutefois à Béoumi en 1984 : sur une parcelle de maïs d'avant-culture, qui semblait apparemment très attaquée, la dissection de 10 plants présentant des symptômes d'attaques visibles extérieurement a donné une moyenne de 12,2 Eldana par tige à 70 JAL. L'observateur n'ayant malheureusement pas effectué le comptage du pourcentage de plants présentant des symptômes d'attaques extérieurs, nous ne pouvons préciser le niveau exact d'attaque, mais il devait bien avoisiner 4 foreurs par tige au moins car il y avait au moins le tiers des plants apparemment attaqués. En cycle unique, les populations d'Eldana atteignent des niveaux importants essentiellement dans le sud de la zone (c'est-à-dire le centre de la Côte d'Ivoire), en particulier à Daoukro et Gohitafla. Plus l'on s'éloigne vers l'ouest et le nord, plus les populations diminuent et plus les fluctuations d'année en année sont marquées : ainsi à Touba, à l'extrême-ouest, les populations, nulles en 1983, atteignaient en 1982 0,7 foreurs par tige, et retombaient à 0,3 en 1984. De même à Niakaramandougou, en se dirigeant vers le nord, les attaques passent de 0,2 à 1,4 foreur par tige de 1983 à 1984. Nous avons trouvé fort peu d'Eldana dans le nord-ouest, où seuls quelques individus isolés ont été rencontrés durant les trois années de suivis.

Eldana saccharina, Comme Busseola fusca, se rencontre donc surtout dans les savanes guinéennes, mais son aire de répartition est nettement plus étendue. On retrouve cette espèce également dans le sud (Dabiré, 1980, Pollet et Al, 1978) et il semble que seul le nord-ouest de la Côte d'Ivoire soit réellement à l'abri d'attaques importantes de ce ravageur.

Sesamia calamistis, enfin, est le plus irrégulier des trois foreurs de tige. C'est encore la région sud de notre zone qui apparaît comme la zone la plus propice à des pullulations de Sesamia calamistis. Ainsi, on trouvait à Daoukro,

en second cycle de l'année 1983, 17 chenilles de Sesamia par tige à 30 JAL. La sécheresse a anéanti cette culture mais, en premier cycle 1984, à 80 JAL, on trouvait près de 5 chenilles de Sesamia par tige. En cycle unique 1984 on ne rencontrait plus qu'une chenille par tige à 80 JAL. Ailleurs, la présence de Sesamia varie beaucoup d'une année sur l'autre, et on rencontre cette espèce aussi bien dans le nord (en 1984 par exemple à Korhogo), qu'à l'ouest, à Séguéla. Hormis le cas de Daoukro, les populations de Sesamia restèrent toujours très modérées dans nos relevés, quelque soit le moment du cycle. Comme Eldana saccharina, Sesamia calamistis est présent sur l'ensemble du territoire ivoirien : Moyal (1980) l'avait rencontrée sur riz irrigué à Kotiessou, à la pointe Sud du V baoulé (6°1 de latitude nord) et Tams et Bowden (1953) ont trouvé cette espèce à Binger-ville, près d'Abidjan ; Odjo (1984) en indique également la présence à Duekoué, ville qui se trouve approximativement à la latitude de Daoukro mais à l'ouest de la Côte d'Ivoire.

C'est donc un foreur à aire de répartition assez vaste mais qui semble, comme Eldana et Busseola, affectionner particulièrement la région centre-est de la Côte d'Ivoire.

2.3.2. Fluctuations des populations suivant les cycles de culture et les années

Tant au niveau de l'avant-culture dans la région centre, qu'au niveau du cycle unique dans l'ensemble de la zone des savanes, les relevés effectués au cours des trois années d'étude ont révélé des fluctuations importantes des populations. 1984, année pluvieuse ainsi que nous l'indiquions en première partie, est caractérisée par des niveaux de populations dans l'ensemble plus forts que les autres années ; l'avant-culture, avec 7 insectes par tige à 80 JAL à Daoukro et 2 à Gohitafla est particulièrement affectée par les attaques qui, en cycle unique, seront plus importantes et plus étendues que les années précédentes. 1983, année sèche, est marquée par des attaques relativement faibles dans les régions où le maïs a résisté à la sécheresse. 1982 est une année intermédiaire, à la fois du point de vue pluviométrie et attaques. Il est possible que les facteurs climatiques, et en particulier la pluviométrie, soient un élément essentiel permettant d'expliquer les fluctuations des populations. Il faudrait davantage d'années de

Figure n° 35

Nombre total de foreurs par tige à 80 JAL
en premier cycle

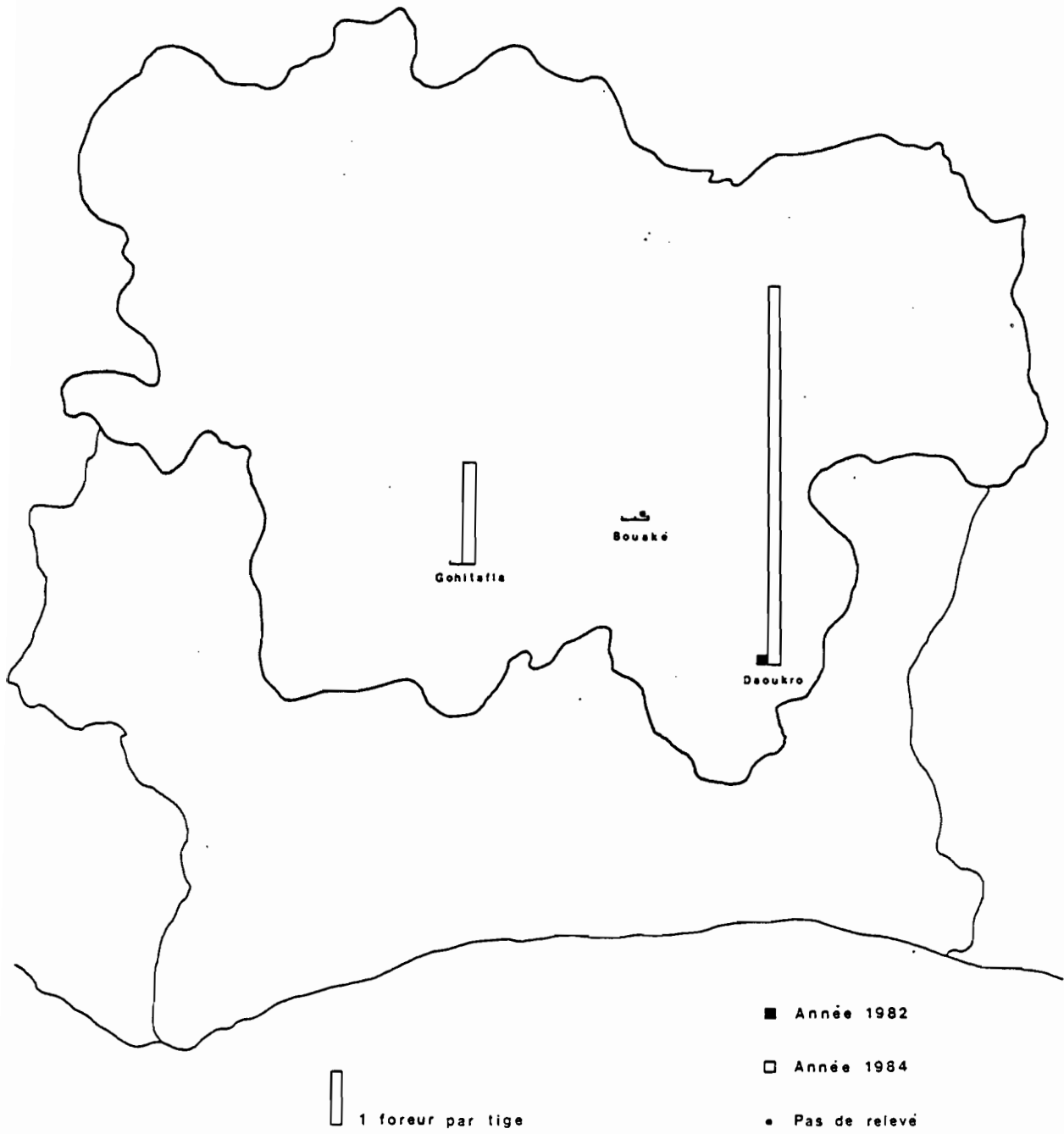
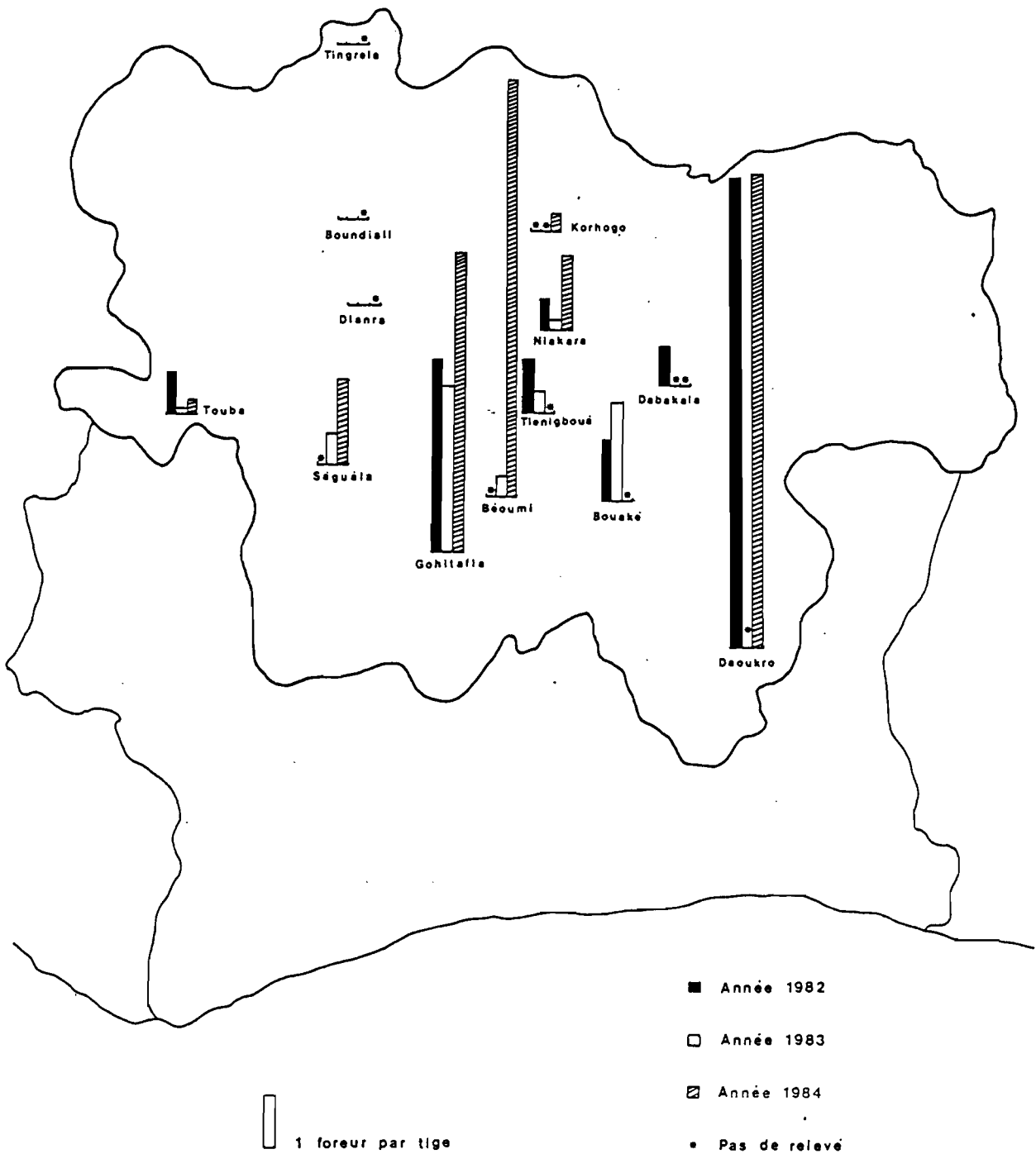


Figure n° 36

Nombre total de foreurs par tige à 80 JAL

en cycle unique



suivi pour pouvoir conclure de façon sûre. Le rôle de l'avant-culture comme source "d'inoculum" pour le cycle unique, n'est, par contre, pas évident d'après nos résultats ; à Daoukro, par exemple, des populations fortes de Busseola en 1er cycle de 1984 ont effectivement été suivies de fortes populations en cycle unique, alors qu'en 1982, où les populations en avant-culture étaient très faibles, l'attaque de Busseola fut bien plus modérée en cycle unique qu'en 1984. Mais, ainsi que nous l'avons vu, il n'en allait pas de même à Gohitafla en 1984 où de fortes populations de Busseola en avant-culture n'ont pas été suivies de fortes attaques en cycle unique ; de même à Daoukro, les très fortes attaques de Sesamia calamistis en avant-culture de 1984 n'ont pas été suivies d'attaques importantes sur le cycle unique. Toutefois nous avons indiqué précédemment que le second cycle de 1983 à Daoukro avait été attaqué de façon très violente par Sesamia, et bien que ce maïs ait été détruit très tôt par la sécheresse, les attaques de l'avant-culture suivante sont peut être la conséquence de ce haut niveau des populations de 1983 ; il est à noter toutefois que cinq mois ont séparé la mort du maïs de 1983 du semis de celui de 1984.

Pour Eldana, enfin, si de faibles attaques en avant-culture ne permettent pas d'affirmer que le cycle unique sera peu affecté par cet insecte, en revanche de fortes attaques de premier cycle en une localité sont certainement le signe d'attaques très importantes sur le cycle unique : c'est du moins ce que l'on peut conclure du seul exemple que nous avons observé, celui de Béoumi en 1984.

2.3.3. Fluctuations des populations au cours d'un cycle de culture

Les figures n° 37 et n° 38 donnent une image des fluctuations des populations, tous foreurs confondus, au cours du cycle unique en diverses localités. En 1983, le suivi n'a débuté qu'au 50e JAL alors qu'en 1984 les relevés ont commencé au 20e JAL.

Ces figures permettent de constater les variations considérables des modalités d'attaque suivant les localités : à Daoukro, les attaques débutent très précocement, avec plus de 10 foreurs par tige dès le 40e JAL en 1984 et près de 28 au 30e JAL en 1983. Puis le niveau d'attaque diminue légèrement, en raison sans doute de la mortalité liée aux phénomènes de compétition, de migration... ainsi que le

Figure n° 37

Evolution du nombre total de foreurs par tige au cours du cycle unique de 1983

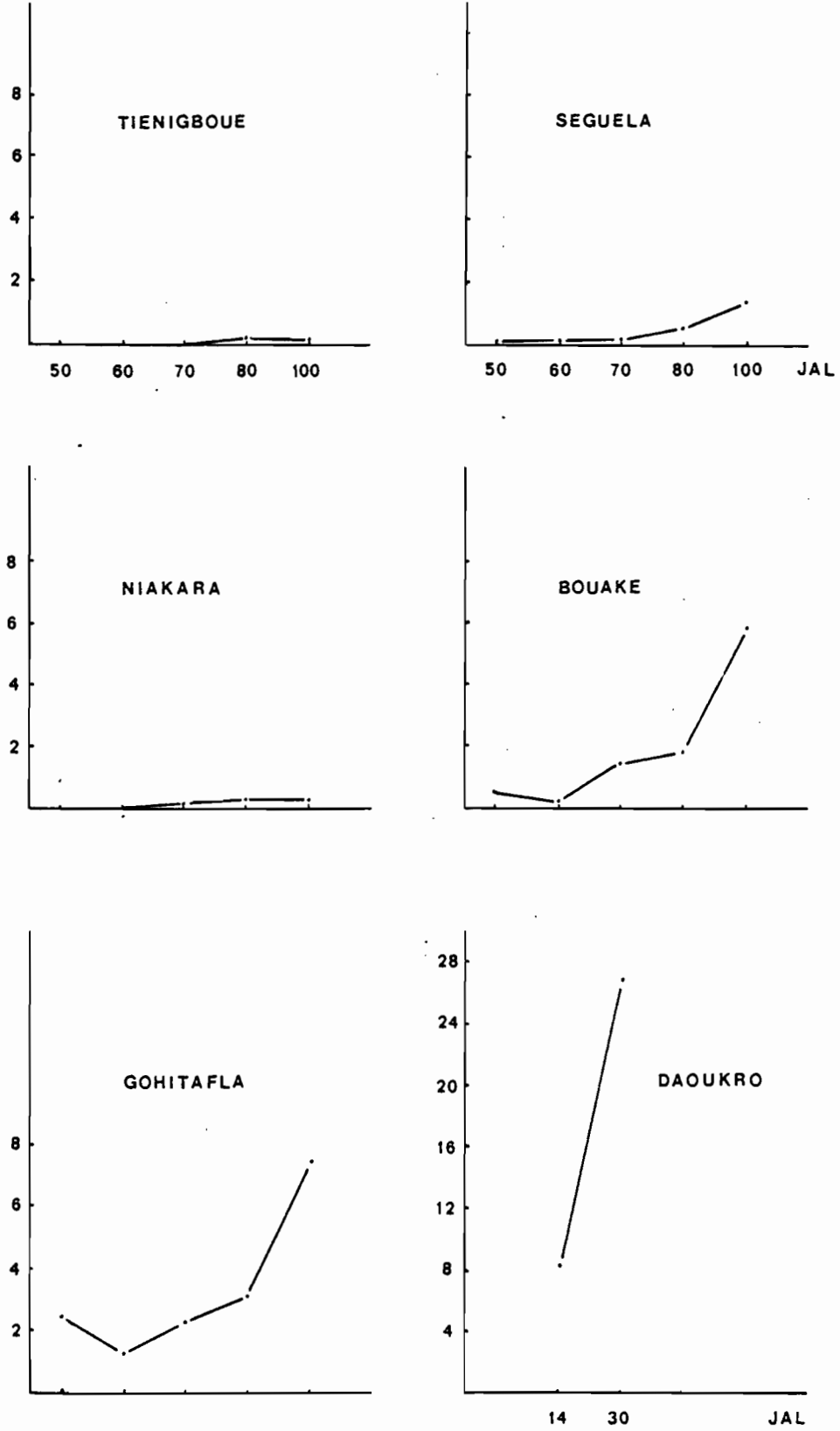


Figure n°38

Evolution du nombre total de foreurs par tige au cours
du cycle unique de 1984

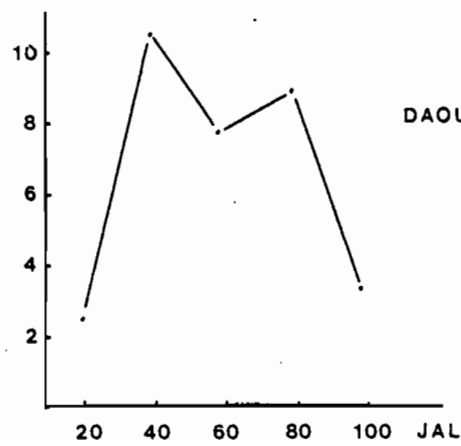
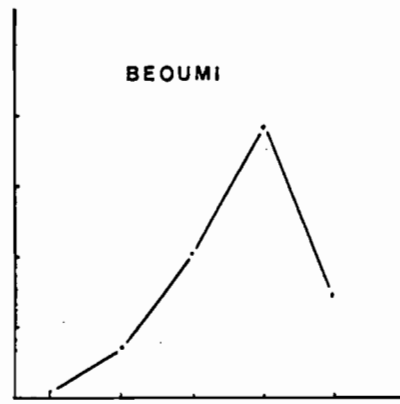
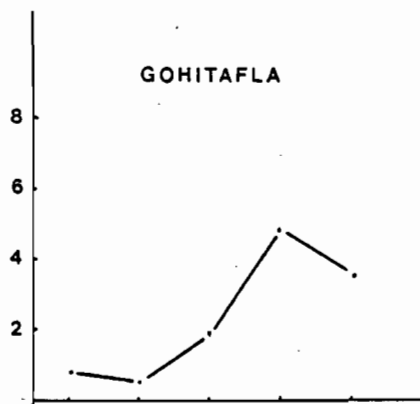
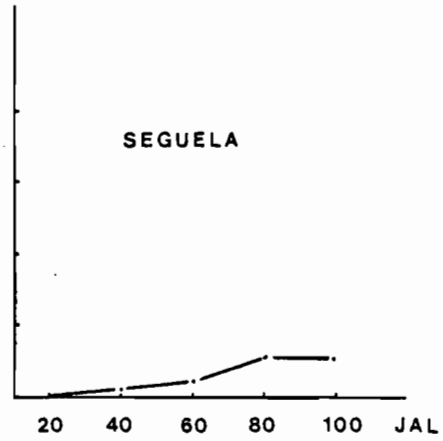
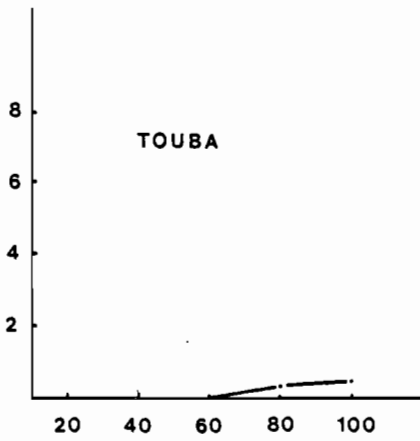
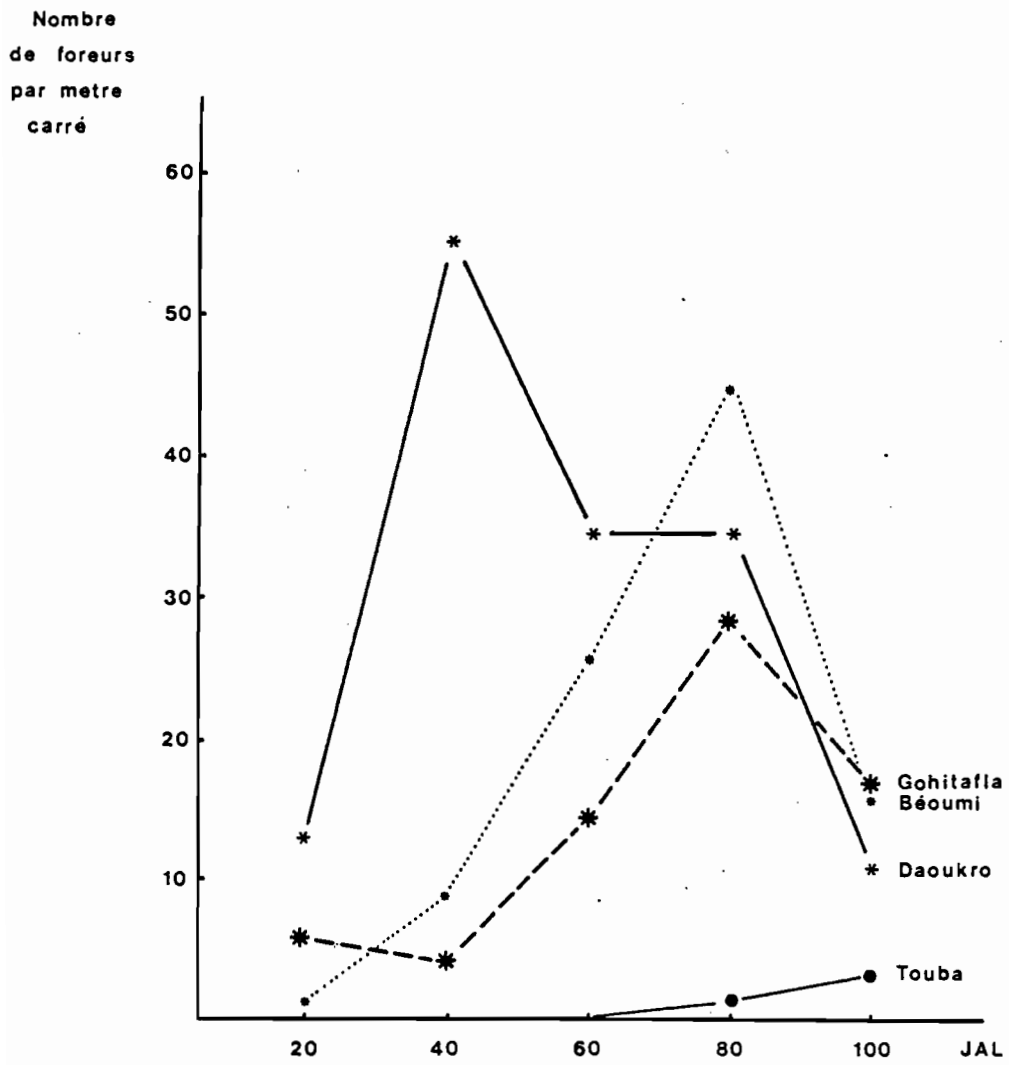


Figure n° 39

Evolution du nombre de foreurs des tiges à l'unité de surface en 1984



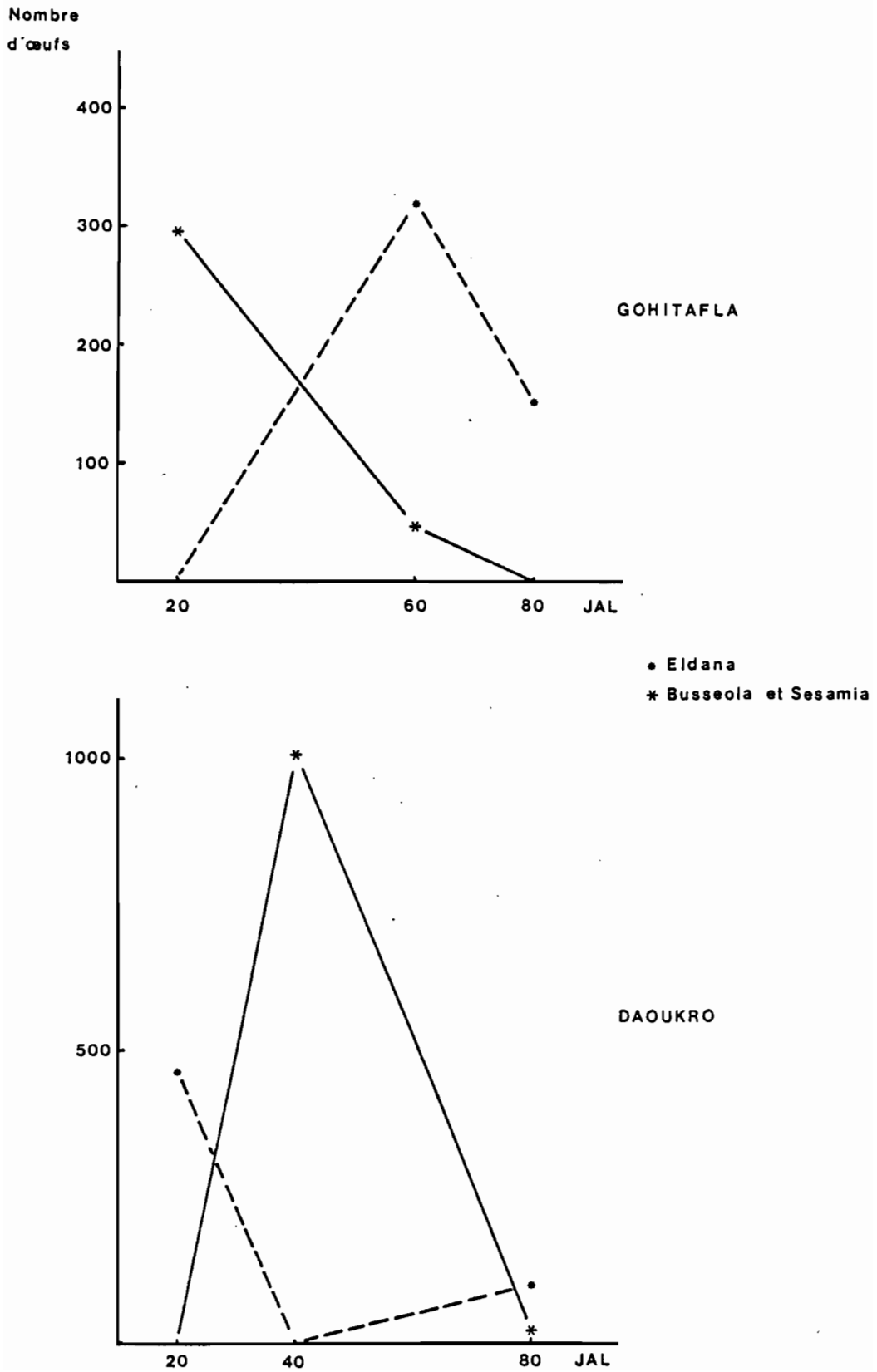
signalait Harris (1962) pour Busseola. Dès le 60e JAL, l'attaque est stabilisée, il n'y a plus que très peu de pontes, et les populations ne feront plus que diminuer au fur et à mesure que les adultes émergeront. Ce type d'attaque est caractéristique de Busseola, qui domine à Daoukro en 1984, mais, en l'occurrence, c'est également celui d'Eldana saccharina.

A Gohitafla, les attaques débutent également très tôt, mais se stabilisent à un niveau relativement faible de 1 à 2 larves par tige, puis une deuxième vague d'attaque débute à partir du 40e JAL en 1984 et du 60e JAL en 1983, et dure jusqu'au 80e JAL et même au-delà en 1983.

A Béoumi en 1984, l'attaque est beaucoup plus régulière, et n'est le fait pratiquement que d'Eldana saccharina dont les populations, quasiment nulles à 20 JAL, progressent ensuite à un rythme rapide et régulier jusqu'à 80 JAL. Ailleurs l'infestation est beaucoup plus faible et lente, ne progressant réellement de façon nette qu'à partir du 60e JAL. Suivant les localités, les comportements d'attaque peuvent donc être très différents : Busseola possède une période d'attaque très précise, ne dépassant pas le 40e JAL. Eldana, par contre, est capable d'attaquer le maïs durant tout le cycle : au début du cycle, elle pond entre la gaine et la tige, à l'instar de Busseola et de Sesamia. Plus tardivement, la ponte est localisée parmi les petits poils qui se trouvent au niveau de l'insertion de la feuille sur la gaine. Enfin, à la maturité du maïs, on trouve même des pontes directement sur l'épi de maïs. Sesamia pond préférentiellement en début de cycle, mais on trouve également des pontes plus tardives. Nous avons présenté sur la figure n° 40 à titre d'exemple, les pontes rencontrées et leur importance à Gohitafla et Daoukro en 1984 pour les dissections où nous étions présents. Les pontes de Sesamia et de Busseola ont été groupées en raison de la difficulté de les distinguer et de l'impossibilité de les mettre en élevage, mais, au-delà du 40e JAL ces pontes sont le seul fait de Sesamia comme le prouvent les dissections qui fournissent, jusqu'au 80e JAL, de jeunes Sesamia et seulement alors des larves âgées de Busseola. Ces graphiques ne fournissent qu'une image instantanée du niveau de pontes, à diverses dates de relevé, mais montrent bien la variabilité du comportement de ponte d'Eldana et le peu de faculté d'adaptation de Busseola. Pour Eldana par exemple, à 80 JAL, sur une moyenne de 100 oeufs pondus sur 100 plants de maïs, 72 sont pondus sur l'épi et 28 seulement sur la tige. La capacité d'adaptation du comportement de ponte

Figure n° 40

Importance des pontes à divers moments du cycle unique 1984



d'Eldana au stade phénologique de la plante-hôte est donc tout à fait remarquable. Peut-être y a-t'il d'ailleurs là un élément d'explication du peu d'extension géographique de Busseola et de la présence d'Eldana dans toute la Côte d'Ivoire : cette dernière espèce, quelque soit l'époque de son émergence, est en mesure de pondre et d'effectuer son développement sur le maïs ; Busseola ne peut le faire que si le stade phénologique du maïs lui convient.

2.3.4. Autres données écologiques

L'étude du parasitisme ne faisait pas partie des objectifs principaux de notre étude. Dabiré (1980) et Odjo (1984) ont fourni des données à ce sujet en Côte d'Ivoire pour Eldana saccharina Walker et Sesamia calamistis Hampson. Concernant Busseola fusca, les données manquent.

Nous avons pu, au cours de nos relevés de 1984, recueillir quelques informations à ce sujet : le taux de parasitisme des pontes était de 43 % à Gohitafla et 51 % à Daoukro. Les parasites appartenaient aux familles des Trichoqrammatidae et des Scelionidae. Compte-tenu de la difficulté de distinguer les pontes de Sesamia de celles de Busseola, des études ultérieures sont nécessaires pour préciser l'importance respective des oeufs parasités, mais il apparait déjà qu'environ la moitié des oeufs pondus est éliminé par des parasites.

Nous avons constaté d'autre part une mortalité nymphale chez Busseola, due à un Chalcidien semblant appartenir à la famille des Eulophidae, et qui pourrait bien être Pediobius furvus Gah., dont la présence a été signalée par Risbec (1950) en Côte d'Ivoire. Ce parasite était responsable en 1984 de la destruction de 20 % des chrysalides à Daoukro et de près de 50 % à Gohitafla.

Nous n'avons pas abordé dans cette étude les aspects concernant le devenir des foreurs après la récolte, et en particulier en saison sèche. Nous rappellerons simplement qu'Eldana saccharina et Sesamia calamistis restent actives durant la saison sèche, se nourrissant essentiellement sur des plantes-hôtes sauvages (voir par exemple Girling, 1978, et Dabiré, 1980, pour Eldana, Usua, 1968, pour Sesamia). Atkinson (1980) considère que les plantes-hôtes naturelles d'Eldana saccharina sont des cyperacées, en particulier Cyperus papyrus et C. immensus et donne la liste des plantes-hôtes sauvages déjà mentionnées pour E. saccharina,

où l'on trouve essentiellement des cyperacées et des graminées. Pour Sesamia calamistis, Odjo dit avoir trouvé en Côte d'Ivoire trois graminées plantes-hôtes sauvages : Rotboellia exaltata, Pennisetum atropurpureum et P. violaceum.

A l'encontre des deux autres foreurs, Busseola fusca connaît, en saison sèche, une période de diapause, qui a lieu dans les résidus de récolte ou les plantes-hôtes sauvages. La diapause n'a d'ailleurs lieu que sur des plants se desséchant ainsi que l'a montré Smithers (1960) en élevant des chenilles sur des plants âgés ou sur de jeunes plants en saison sèche : aucun phénomène de diapause n'apparaissait pour les chenilles élevées sur les jeunes plants. La diapause est levée par les premières pluies importantes (Smithers, 1960). Harris (1962) cite comme plante-hôte sauvage Pennisetum purpureum et Panicum maximum. Pour Dabiré (1980) la saison sèche se traduit par une réduction des populations d'insectes même si la culture est pérenne (plantes sucrières), soit pour des raisons climatiques, soit parce que le parasitisme des oeufs en fin de saison des pluies est important. Dabiré explique ainsi le faible niveau des populations de la première campagne de maïs.

L'exemple des attaques très fortes de l'avant culture en 1984, après une année 1983 très sèche qui a détruit la plupart des cultures en zone centre de la Côte d'Ivoire, permet toutefois de penser que les phénomènes ne sont peut-être pas aussi simples et que des études précises sont nécessaires afin d'expliquer ces brutales fluctuations des populations.

CONCLUSION

L'élément dominant qui ressort de ces trois années d'étude des fluctuations des populations des foreurs des tiges de maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire est la variabilité. Variabilité qui n'est d'ailleurs pas surprenante, dans une période aussi contrastée du point de vue climatique. Toutefois, si l'on excepte le cas de l'avant-culture en région centre, caractérisée par des attaques pratiquement inexistantes en 1982 et parfois très violentes en 1984, il est possible de dégager des phénomènes réguliers en cycle unique : l'attaque, forte dans le sud, sud-est de la zone, décroît au fur et à mesure que l'on progresse vers

le Nord ou l'Ouest : si, d'une année sur l'autre, les populations d'un foreur donné peuvent être variables, il existe globalement une zone où les attaques sont régulièrement très fortes, et, à l'opposé de cette zone, au Nord-Ouest, une région où les attaques sont quasi-inexistantes. Entre ces deux extrêmes, la situation variera d'année en année, les populations pouvant être multipliées par 2 ou plus d'une année à l'autre, mais sans atteindre plus de 2 foreurs par tige à 80 JAL, du moins au cours de ces trois années.

En pratique, pour l'agronome, il y a donc là, une information intéressante en vue d'orienter une lutte éventuelle.

La répartition géographique des diverses espèces est également maintenant connue, ainsi que les modalités d'attaque du maïs.

Il s'agissait là des principaux objectifs que nous nous étions fixé au commencement de cette étude.

Bien des questions restent toutefois en suspens, et l'étude des facteurs régulant la dynamique des populations des divers foreurs est à entreprendre. La répartition géographique de Busseola fusca nous a donné un exemple des problèmes qui se posent.

Si l'on a donc aujourd'hui une image plus claire de l'évolution des populations des foreurs des tiges du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire, s'il est possible de préciser au moins les zones à très haut risque et celles à très faible risque d'attaque, rien n'est encore connu des facteurs qui interviennent pour favoriser ou limiter les pullulations et la distribution géographique des espèces. Les résultats obtenus jusqu'à présent constituent toutefois une somme de données, qui, si elle est complétée par des relevés pendant encore quelques années, devrait permettre d'apporter quelques éclaircissements sur l'origine des fluctuations des populations des foreurs des tiges du maïs.

Chapitre 2MUSSIDIA NIGRIVENELLA RAGONOT, FOREUR DE L'EPI DE MAISINTRODUCTION

On rencontre divers foreurs s'attaquant à l'épi de maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire : il y a, tout d'abord, les foreurs de la tige, qui passent parfois de la tige à l'épi ; certains même pondent directement au niveau de l'épi, comme Eldana saccharina (voir chapitre 1), se transformant alors en foreur de l'épi à part entière.

Il y a également Cryptophlebia leucotreta Meyr., foreur uniquement de l'épi, et qui pond sur les spathes et dans les soies de très petits oeufs aplatis, prenant une couleur rouge quelques heures après la ponte : c'est un insecte trouvé fréquemment au cours des dissections d'épis, mais dont les populations restent toujours d'un niveau assez faible, inférieur à 1 insecte par épi. C'est en réalité un foreur de faible importance sur maïs; de petite taille, il attaque très peu de grains, se localisant en général à l'extrémité apicale de l'épi où il peut même se contenter de la rafle. Nous situerons simplement dans ce chapitre le niveau de ses populations ; le maïs représente, pour cet insecte, une plante-hôte secondaire, sa culture de prédilection en zone de savane étant le cotonnier, dont il constitue un déprédateur important.

Mais l'épi de maïs héberge surtout Mussidia nigrivenella Rag.. C'est un insecte qui a fait l'objet de peu d'études et qui se distingue à ce titre de C. leucotreta, très étudié en raison de sa nuisibilité sur cotonnier, agrumes...

Ce chapitre est consacré essentiellement aux données biologiques et écologiques que nous avons pu recueillir sur Mussidia nigrivenella Rag. dans la zone des savanes de Côte d'Ivoire.

1. CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

1.1. L'élevage au laboratoire

L'élevage a été réalisé de façon tout à fait classique : les adultes venant d'émerger sont placés dans des "bonnettes de pontes", boîtes de plastique transparent en forme de cône tronqué d'une hauteur de 22 cm pour un diamètre de 9 cm à la base et de 12 au sommet. Du papier ondulé est installé dans la bonnette comme support de ponte ainsi qu'un coton imbibé d'eau miellée.

Les pontes obtenues sur le papier sont découpées et placées dans de petites boîtes.

L'élevage des larves a lieu sur milieu artificiel selon une méthode aujourd'hui couramment utilisée. Suivant l'objectif fixé, on peut, soit isoler les larves dans des boîtes de 1 cm³ environ, soit les regrouper par 20 à 30 dans des boîtes cylindriques de 8 cm de diamètre et de 5 cm de haut. Les prénymphe sont recueillies et placées dans des boîtes où elles se nymphosent.

La salle d'élevage était maintenue à une température relativement constante de 22°C en moyenne à l'aide d'un climatiseur, mais était par contre soumise dans l'année à des variations d'humidité relative assez importantes, celle-ci variant de 60 à 80 %.

1.2. Le milieu artificiel

Le milieu artificiel utilisé au laboratoire pour l'élevage d'Eldana saccharina Walker est le milieu simplifié mis au point par Poitout et Bues (1970) pour 8 espèces de Noctuelles. Testé pour l'élevage de Mussidia nigricornis, ce milieu s'est révélé assez décevant, étant à l'origine d'une forte mortalité des néonates.

Nous avons donc essayé d'autres milieux, où le maïs prenait une part plus importante. L'un d'entre eux a donné de meilleurs résultats que le milieu "Poitout" : la mortalité des néonates était beaucoup plus faible, les stades

larvaires beaucoup plus courts et beaucoup mieux groupés. Ce milieu aboutit toutefois à une mortalité également forte, mais qui, contrairement à l'autre milieu, est plus étalée dans le temps : la mortalité due à ce milieu expérimental fut en moyenne de 55 % sur plusieurs générations contre 65 % pour le milieu "Poitout" : mais, concernant ce dernier milieu, 81 % de la mortalité a lieu dans la première semaine de la vie larvaire, alors que pour notre milieu expérimental, la mortalité est plus régulière : 17 % des larves mortes le sont la première semaine, puis 23 % les deuxième et troisième semaines et enfin 37 % la quatrième semaine. Il faut noter en outre que cette mortalité n'est pas due à la seule inadéquation du milieu mais surtout au développement de nombreuses bactérioses ou mycoses sur milieu, dont l'origine fut sans doute un mauvais lavage des boîtes et un dosage parfois imprécis des agents protecteurs. Ce milieu expérimental, dont la composition est indiquée dans le tableau n° 11, a permis, malgré tout, la mise en place d'un élevage et d'étudier, dans des conditions proches de celles de la nature, la durée des divers stades larvaires.

1.3. Le nombre et la durée des stades pré-imaginaux

Dans les conditions de température et d'hygrométrie indiquées précédemment la durée d'incubation de l'oeuf de Mussidia nigrivivella est de 6,4 jours en moyenne : le pic d'éclosion se situe à 6-7 jours : 52 % des néonates apparaissent le 6e jour et 37 % le 7e jour ; 7,5 % éclosent le 5e jour, 3 % le 8e jour et les 0,5 % restant le 9e jour.

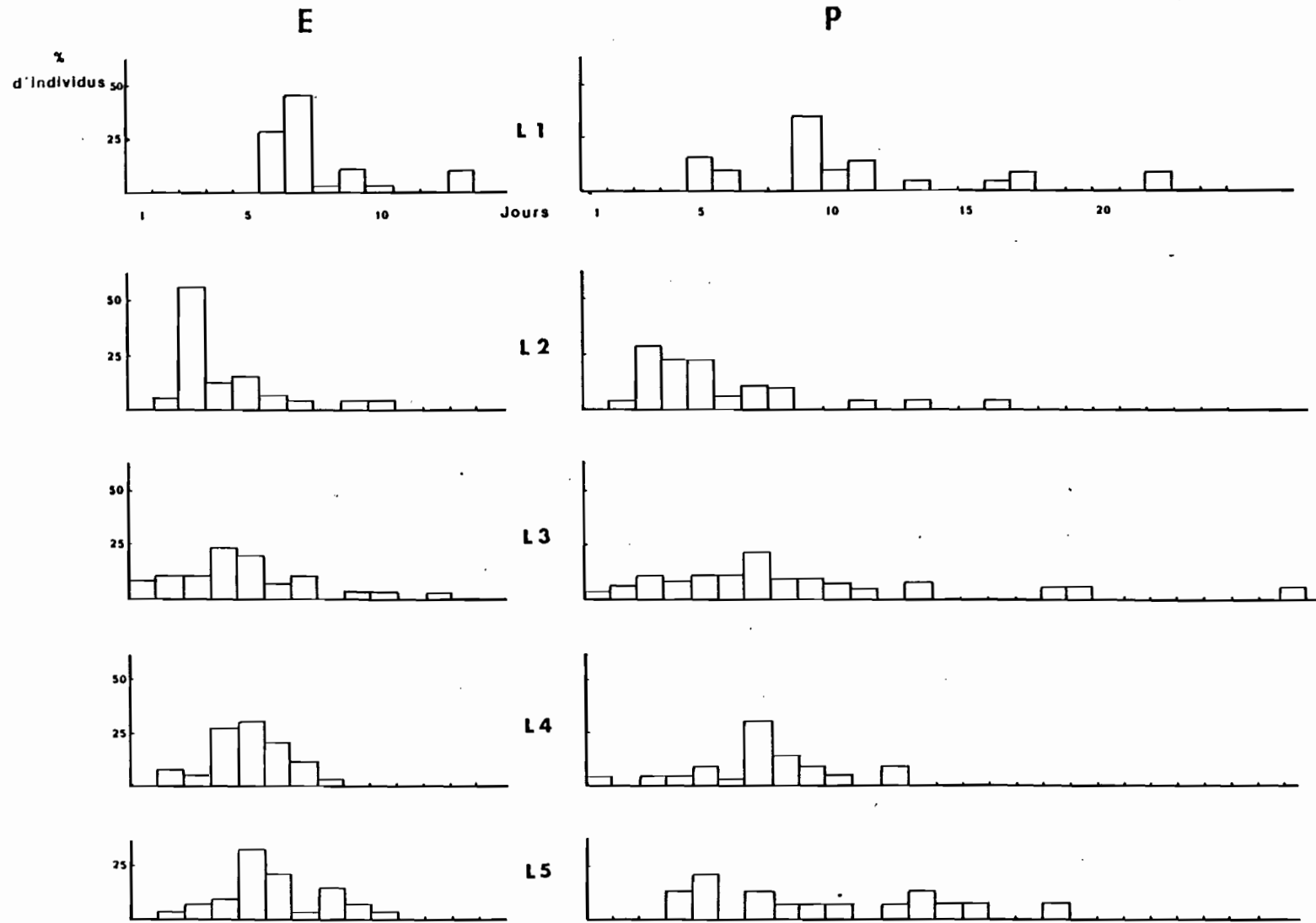
L'élevage de chenilles placées isolément dans de petites boîtes a permis de constater que le développement larvaire est fortement influencé par le milieu d'élevage. Le milieu "Poitout" s'est révélé à ce titre très peu représentatif des conditions de développement de Mussidia dans la nature : ainsi, sur ce milieu, le développement, depuis le dépôt de l'oeuf jusqu'à l'émergence de l'adulte est de 80 jours contre 47 pour notre milieu expérimental (tableau n° 12) ; en outre, la variabilité pour chaque stade est beaucoup plus importante sur milieu "Poitout" (tableau n° 12 et figure n°41) et la fréquence d'apparition d'un 6e stade larvaire s'accroît. Ainsi, les femelles élevées sur notre milieu ont toutes 5 stades larvaires et c'est également le cas pour 88 % des mâles ; les 12 % restant

Tableau n° 11

Composition des milieux artificiels utilisés pour l'élevage de Mussidia
nigrivenella Rag.

INGREDIENT	QUANTITE	
	Milieu "Poitou"	Milieu expérimental
Eau distillée	120 cc	120 cc
Agar-agar	3 g	3 g
Semoule de maïs	22,4 g	33 g
Acide benzoïque	0,25 g	0,25 g
Nipagine	0,20 g	0,20 g
Formol	1 ml de solution à 10 %	1 ml de solution à 10 %
ou Aureomycine	0,04 g	0,04 g
Levure de bière	2 g	3 g
Germes de blé	6 g	-
Acide ascorbique	2 g	-

Figure n° 41 : Fréquence des durées des stades larvaires sur milieu -Poitou- (P) et sur milieu expérimental (E).



ont 6 stades larvaires. Sur milieu "Poitou", 58 % des larves qui donneront par la suite des femelles présentent 6 stades larvaires, et 38 % de celles qui donneront des mâles.

En moyenne, le développement des mâles est légèrement plus rapide que celui des femelles : 46 jours contre 49 jours sur notre milieu.

La nymphose, qui s'effectue à l'abri d'un cocon, dure de 8 à 10 jours et s'achève par l'émergence d'un adulte qui survit de 3 à 4 jours dans les conditions d'élevage décrites.

1.4. Fécondité et fertilité

La dissection d'une femelle venant d'émerger permet de dénombrer plus de 650 oeufs dans les ovaires. Au niveau de notre élevage, la fécondité fut très inférieure à ce potentiel : ainsi, à la 4^e génération, 172 femelles ont pondu 11819 oeufs, soit en moyenne 68,7 oeufs par femelle. A la 5^e génération, la ponte moyenne par femelle ne fut que de 17,8 oeufs. Les variations d'hygrométrie de la salle d'élevage sont peut-être en cause dans ces fluctuations : on sait, par exemple, que la fécondité de la pyrale du maïs européenne, Ostrinia nubilalis, est fortement influencée par l'hygrométrie et que l'on peut même observer chez cet insecte un arrêt des pontes au-dessous de 70 % d'humidité relative (Guennelon, 1972).

La fertilité des oeufs pondus au cours de nos élevages fut également faible, atteignant exceptionnellement 65 %, et se situant en moyenne à 25 %. Un des éléments explicatifs est sans doute la densité d'adultes par bonnette : on constate en effet que le nombre d'oeufs pondus et le pourcentage d'oeufs fertiles augmentent avec le nombre d'adultes par bonnette jusqu'à environ 40 adultes puis diminuent lorsque la densité d'adultes croît. Dans les deux cas, on peut ajuster le nuage de points obtenus à une parabole ayant un maximum à une densité voisine de 40 adultes par bonnette ; ces régressions n'expliquent toutefois que 30 à 40 % de la variation observée.

Tableau n° 12

Durée en jours des stades de développement de Mussidia nigrivittata Rag.

selon les milieux d'élevage testés

Stade	milieu "Poitou"		Milieu expérimental	
	moyenne	extrêmes	moyenne	extrêmes
Oeuf	6,4	5-9	6,4	5-9
L1	9,8	5-22	6,6	5-12
L2	5,4	2-16	3,0	1-9
L3	8,5	1-27	4,5	1-12
L4	7,0	1-12	3,9	1-7
L5+L6+pré-nymphé	33,4	13-58	13,6	9-26
Nymphé mâle	10,0	9-11	8,50	7-11
Nymphé femelle	9,9	9-12	8,80	7-11
Moyenne nymphé	9,95		8,85	
Total développement	80,5		46,65	

* La durée du stade pré-nymphé est d'une journée en moyenne.

1.5. Le sex-ratio

Le rapport du nombre de mâles sur le nombre de femelles est voisin de 1 : égal à 1,041 pour la quatrième génération, il est de 0,907 à la cinquième.

Le sex-ratio ne semble guère jouer sur la fécondité ni la fertilité : aucune corrélation n'a pu être mise en évidence d'après les chiffres obtenus entre le sex-ratio, qui variait de 0,2 à 2,7 et la fécondité ou la fertilité.

2. CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES

2.1. Répartition géographique

Divers auteurs signalent l'introduction de Mussidia nigrivenella Rag. dans certains pays tempérés par l'intermédiaire de graines de cacao importées : Potter (1931), Hurlock (1959) rencontrent cette espèce dans des entrepôts en Grande-Bretagne et Varshalovich (1975) en URSS.

Hormis ces situations exceptionnelles, qui ne semblent d'ailleurs pas suivies d'acclimatation de l'espèce dans ces pays, Mussidia nigrivenella Rag. paraît être limitée à l'Afrique au Sud du Sahara : Nonveiller (1984) en fait une espèce de la zone forestière de l'Afrique occidentale et centrale. Toutefois, Janse (1941) la trouve également en Afrique du Sud. Dans la mesure où Vuillet (1912) la signale dans le "Haut-Sénégal" et au Niger, on peut donc considérer que cette espèce s'étend sur toute l'Afrique au Sud du Sahara. Divers auteurs la signalent d'ailleurs en Afrique de l'Est.

Nous avons présenté, dans le tableau n° 13, la liste des pays où Mussidia nigrivenella Rag. a été rencontrée, et les auteurs qui l'ont signalée, d'après les éléments bibliographiques que nous avons pu trouver.

Il est à noter d'ailleurs que le genre Mussidia est lui-même essentiellement africain puisque, sur 8 espèces connues en 1941 (Janse), 5 provenaient du continent, 2 de la Réunion, et une seule de la région de l'Himalaya.

Tableau n° 13

Pays où Mussidia nigrivenella Rag. a été rencontrée et auteurs l'ayant signalée.

PAYS	AUTEURS
Afrique du Sud	Janse (1941).
Ouganda	Le Pelley (1959).
Kenya	Le Pelley (1959).
Tanzanie	Waiyaki (1973).
Zaïre	Mayné (1917), Ghesquiere (1923), Sorauer (1925), Buyckx (1962), Winiger (1962).
Congo	Entwistle (1972).
Cameroun	Winiger (1962), Nonveiller (1984).
Nigeria	Lamborn (1914), Pomeroy (1921), Evans (1952), Libby (1968), Whitney (1970), Entwistle (1972).
Bénin	Staeubli (1977).
Ghana	Forsyth (1953), Smith (1965), Fröhlich (1970), Entwistle (1972), Nonveiller (1984).
Côte d'Ivoire	Entwistle (1972).
"Ouest Soudan"	Zacher (1912).
"Haut-Sénégal-Niger"	Vuillet (1912).

Tableau n° 14

Plantes-hôtes connues de Mussidia nigrivenella Rag. et auteurs les mentionnant

Plante-hôte	Auteurs
Cabosses et grains de cacaoyer	Buyckx, Corbet et Tams, Entwistle, Evans, Ghesquière, Lavabre, Mayné, Nonveiller, Pomeroy, Potter, Smith, Varschalovich, Waiyaki, Winiger.
Epi de maïs	Buyckx, Evans, Fröhlich, Lamborn, Nonveiller, Pomeroy, Smith, Sorauer, Whitney.
Capsules et graines de cotonnier	Buyckx, Ghesquière, Nonveiller, Smith, Staeubli.
Noix de <i>Butyrospermum parkii</i> *	Smith, Sorauer, Vuillet, Zacher.
Ficus sp. <i>Phaseolus funatus</i>	Le Pelley. Smith.
fruits de <i>Sphenostylis stenocarpa</i>	Nonveiller.
Stocks de :	
graines de <i>Canavalia</i>	Buyckx, Le Pelley.
graines de haricot	Buyckx, Le Pelley.
bananes sauvages (<i>Wild banana</i>)	Le Pelley.

* L'arbre de Karité, dont le nom scientifique est aujourd'hui *Vitellaria paradoxa*

2.2. Plantes-hôtes

En dehors du maïs, Mussidia nigrivenella a été signalée sur diverses plantes, et également dans des denrées stockées. M. nigrivenella semble en effet ne s'attaquer qu'aux fruits et plus particulièrement aux graines : on peut ainsi retrouver cette espèce dans les entrepôts de stockage, du moins au début du stockage, car ce n'est pas un insecte qui se développe habituellement dans les denrées entreposées, ainsi que la notait déjà en 1963 A.D. Aitken.

Nous indiquons, dans le tableau n° 14 , les diverses plantes-hôtes de Mussidia nigrivenella, et les auteurs qui les ont signalées.

Nous avons en outre personnellement rencontré M. nigrivenella sur soja, au champ dans les gousses, puis au magasin en stock.

C'est donc une espèce assez polyphage du point de vue botanique, puisqu'elle vit aux dépens de plantes appartenant à des familles assez variées (Papilionacées, Sapotacées, Sterculiacées, Graminées, Moracées, Musacées, Malvacées), mais très stricte dans le choix de la partie de la plante attaquée, qui est toujours le fruit, et, au sein du fruit, avant tout la graine.

2.3. Evolution des populations de Mussidia nigrivenella dans une culture de maïs

2.3.1. Méthodologie

Deux parcelles de maïs de premier cycle ont été suivies, l'une à Bouaké, l'autre à Yamoussoukro, à 100 kilomètres au sud de Bouaké. La parcelle de Bouaké était divisée en deux parties : la première était semée avec la variété MTS, la seconde avec la variété CJB. A Yamoussoukro, trois variétés avaient été implantées : outre les deux variétés précédentes, on trouvait également la variété Composite D.

A Bouaké, 100 épis étaient prélevés chaque semaine à partir de 75 JAL, à raison de 50 épis par variété. A Yamoussoukro, des prélèvements de 40 épis par variété avaient lieu tous les 3 ou 4 jours en début de prélèvement, puis tous les 7 jours en fin de cycle.

Sur ces épis étaient recherchées les pontes, puis après despathage, les larves et chrysalides. Il est à noter que la recherche des chenilles ne peut être réellement efficace qu'après égrenage et que, par conséquent, sur de jeunes épis, l'estimation des populations est difficile. En outre, même après égrenage, il nous est apparu très ardu de détecter les très jeunes stades larvaires (L1 et L2), dissimulés dans les grains sans symptômes extérieurs visibles.

Les délais séparant deux prélèvements étant, à Yamoussoukro, plus rapides que le temps d'éclosion moyen des oeufs, et étant légèrement supérieurs à ce temps d'incubation à Bouaké, un ajustement a été nécessaire lors de l'étude des fluctuations des pontes afin d'estimer les pontes réelles déposées entre les deux jours de relevé : Dans le cas d'un délai entre deux prélèvements inférieur au temps d'incubation, nous avons d'abord estimé le nombre d'oeufs du prélèvement précédent qui devraient être éclos si les pontes avaient été effectuées régulièrement ; ce nombre était estimé en divisant le nombre d'oeufs par la durée d'incubation (6,4 jours) et en multipliant par le nombre de jours écoulés. Le résultat obtenu est soustrait du nombre d'oeufs trouvé afin d'avoir le nombre d'oeufs du prélèvement actuel provenant de pontes déjà prises en compte. Puis l'on soustrait ce chiffre au nombre d'oeufs trouvés au cours du prélèvement actuel afin d'estimer le nombre d'oeufs effectivement pondus depuis le dernier prélèvement. Si le nombre obtenu est négatif, on considère qu'il n'y a pas eu de pontes dans l'intervalle de temps, le résultat négatif provenant de l'échantillonnage.

Lorsque le délai entre deux prélèvements excédait la durée d'incubation, nous divisons le nombre d'oeufs trouvé par la durée d'incubation et multiplions par le délai entre deux prélèvements.

Par exemple, pour 100 oeufs trouvés au temps t_0 et 200 oeufs au temps t_1 :

- si le délai séparant t_1 de t_0 est de 3 jours, la ponte estimée entre t_1 et t_0 est de 147 oeufs durant ces trois jours.

- si le délai séparant t_1 et t_0 est de 7 jours, la ponte estimée est de 219 oeufs durant ces 7 jours.

Nous avons adopté comme unité d'échantillonnage l'épi de maïs, qui était prélevé au hasard dans la parcelle.

2.3.2. Structure spatiale des populations

L'étude des structures spatiales des populations et de leur évolution est importante pour comprendre certains mécanismes de la dynamique des populations, tels que, par exemple, les phénomènes de dispersion.

Elle est en outre un préalable indispensable à la mise en oeuvre de techniques d'échantillonnage séquentiel utilisables lors de la prise de décision du déclenchement ou non de la lutte contre les ravageurs.

L'objectif, dans ce type d'analyse, est d'ajuster la répartition spatiale observée à diverses distributions mathématiques permettant de caractériser la répartition. Parmi les diverses lois mathématiques utilisables, nous en avons retenu trois, d'usage courant : la loi binomiale négative, qui traduit une distribution agrégative, et dont le coefficient k peut être considéré comme un indice d'aggrégation ; la loi de Poisson, qui caractérise une distribution au hasard ; la loi normale enfin, qui peut ajuster une répartition régulière.

Nous avons présenté en annexe 2 le programme que nous avons réalisé sur calculatrice Hewlett-Packard 41 CV permettant, d'une part, de choisir entre les diverses lois mentionnées, et, d'autre part, de tester la qualité de l'ajustement. La méthode utilisée est celle indiquée par Elliott (1971) en ce qui concerne le choix entre les diverses lois et par Bliss (1953) pour le calcul du coefficient k de la loi binomiale négative.

Les résultats obtenus sont présentés sur les tableaux n° 15 et n° 16 et les figures n° 42 et n° 43. Un regroupement par classes a été nécessaire en raison de l'hétérogénéité des fréquences dès que le nombre d'insectes par épi augmente : nous avons donc retenu une classe 0, correspondant à 0 oeuf ou insecte par épi, puis une classe 1 correspondant à 1 à 4 oeufs ou insectes par épi, chacune des classes suivantes correspondant à des groupes de 4 oeufs ou insectes (classe 2 : 5 à 8, classe 3 : 9 à 12...).

La distribution des pontes au champ est, de façon très générale, d'un type agrégatif prononcé : le coefficient k est toujours proche de zéro, ce qui traduit un haut niveau d'aggrégation (Elliott, 1971), quelque soit le niveau de pontes qui peut atteindre près de 7 oeufs par épi en certains cas. Les rares exemples de loi de Poisson correspondent à de faibles pontes, ce qui rejoint

Tableau n° 15

Ajustements de la répartition spatiale des oeufs de Mussidia nigrivenella Rag.

à diverses lois mathématiques.

Lieu	Variété	Nombre d'oeufs pour 100 épis	Distribution	
Bouaké	MTS	34	Binomiale négative k : 0,19	
		138	" " 0,37	
		62	" " 0,53	
		33	" " 0,60	
	CJB	48	Binomiale négative k : 0,07	
		110	" " 0,12	
		104	" " 0,06	
		128	" " 0,05	
		71	" " 0,07	
	Yamoussoukro	MTS	48	Binomiale négative k : 0,07
245			" " 0,09	
695			" " 0,27	
478			" " 0,31	
575			" " 0,66	
148			" " 0,19	
Composite D		CJB	78	Binomiale négative k : 0,20
			7	Poisson
			102	Binomiale négative k : 0,09
			98	" " 0,06
			39	Poisson
			283	Binomiale négative k : 0,23
		Composite D	363	" " 0,36
			192	" " 0,26
			249	" " 0,36
			287	" " 0,09
			97	Poisson
			359	Binomiale négative k : 0,36
259	" " 0,22			
180	" " 0,10			

Tableau n° 16

Ajustements de la répartition spatiale de quelques populations de larves de Mussidia
niqrivenella Rag. à diverses lois mathématiques

Lieu	Variété	Nombre moyen de larves par épi	Distribution
Bouaké	MTS	1,38	POISSON
	CJB	0,72	BINOMIALE NEGATIVE k : 0,71
Yamoussoukro	MTS	1,08	BINOMIALE NEGATIVE k : 1,40
	CJB	0,60	POISSON
	Composite D	0,80	POISSON
Béoumi	CJB	4,8	BINOMIALE NEGATIVE k : 6,03
Daoukro	CJB	3,6	POISSON
	CJB	14,3	BINOMIALE NEGATIVE k : 11,57

Figure n° 42

Quelques exemples de distributions de fréquences du nombre d'œufs (O) et du nombre de larves (L) par épi de *Mussidia nigricornis* Rag. (classe 0: 0 insecte par épi, les classes suivantes regroupant 4 niveaux d'attaque consécutifs: classe 1: 1 à 4 insectes par épi, classe 2: 5 à 8, etc.)

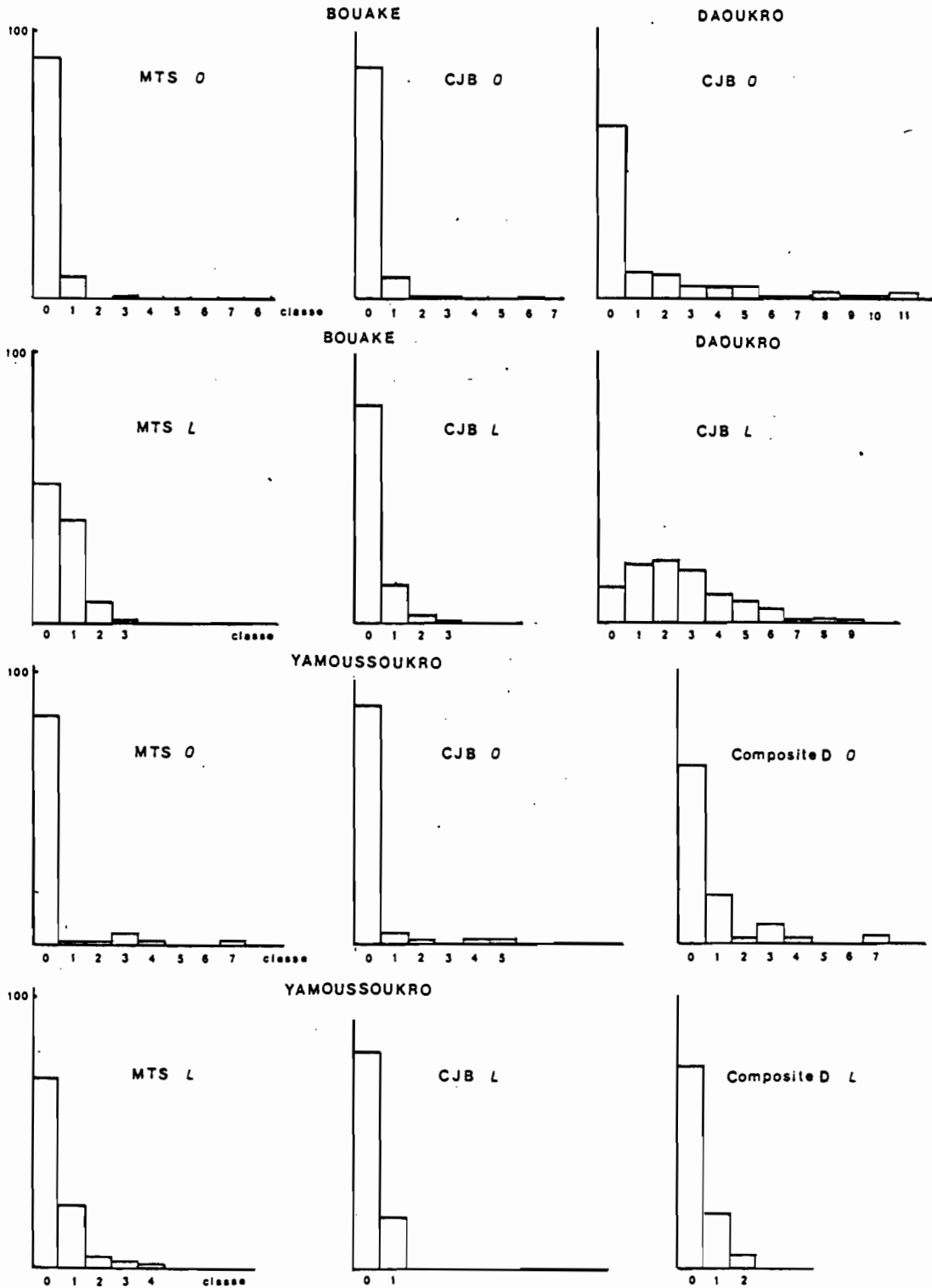
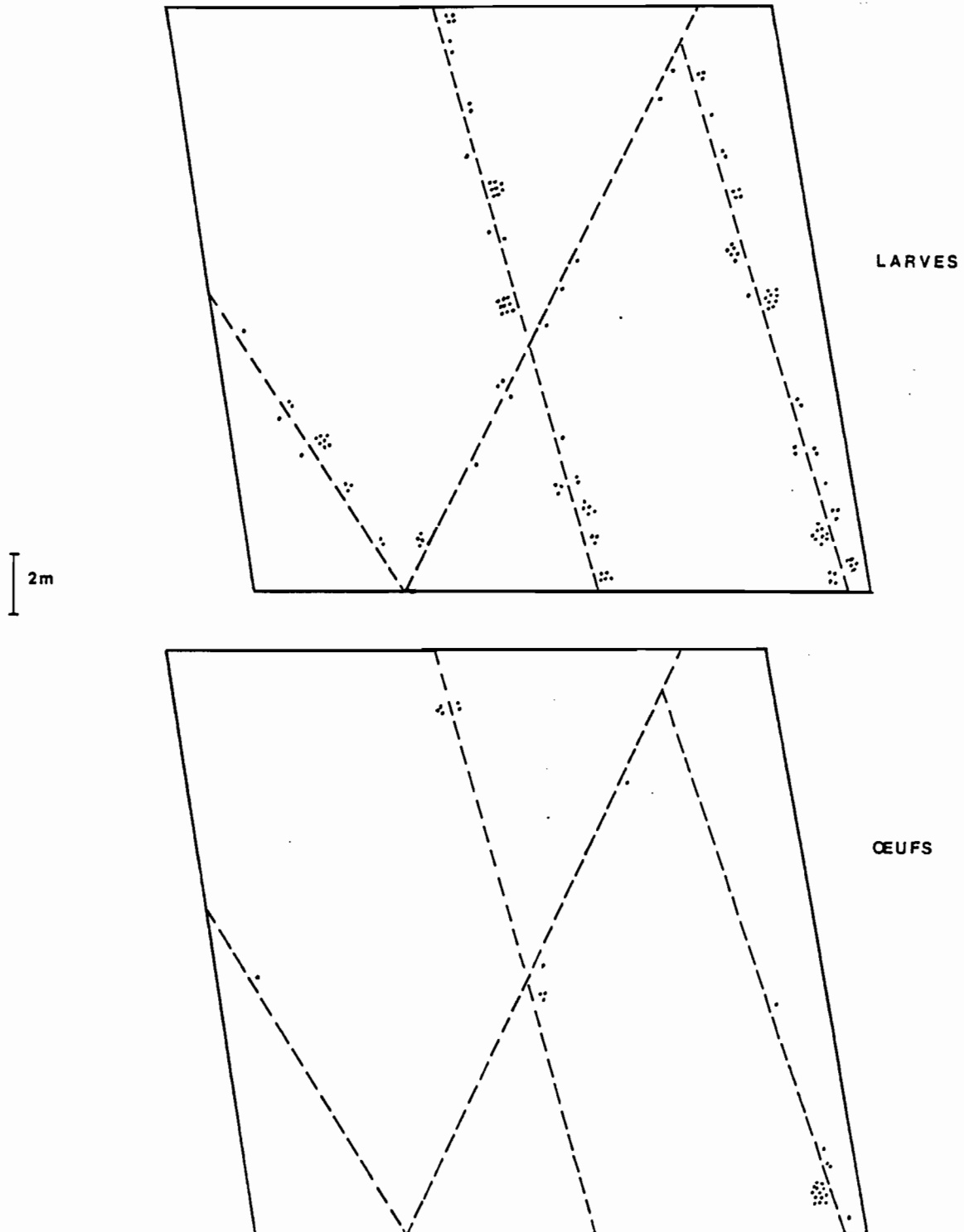


Figure n° 43

Répartition spatiale des larves et des œufs de *Mussidia nigrivenella* Rag
le long des divers transects suivis au cours d'un relevé effectué sur
la parcelle de MTS de Bouaké.



la constatation d'Eliott (1971) pour qui les lois de Poisson correspondent surtout à des populations de faible densité, et seraient, en réalité, souvent une conséquence d'un échantillonnage insuffisant.

Les quelques exemples de distributions de larves et chrysalides rencontrées se révèlent par contre très différents et indiquent une répartition au hasard ajustable par la loi de Poisson. Les quelques cas de distribution aggrégative sont caractérisés par des valeurs de k nettement plus fortes que pour les pontes : cette augmentation de k indique effectivement une tendance vers la loi de Poisson (Southwood, 1978). L'image de la distribution des larves rencontrées dans la parcelle de MTS à Bouaké à la récolte est assez caractéristique de cette distribution au hasard, qui s'oppose à la distribution des pontes trouvées au cours du même relevé (figure n° 43).

Cette distribution apparemment essentiellement "au hasard", alors que les pontes sont réparties de façon aggrégative est sans doute la combinaison de deux phénomènes : d'une part une dispersion des larves néonates (ce sont les seules que l'on peut rencontrer à l'extérieur des épis ; une fois la larve au contact des grains, elle ne quitte plus l'épi). D'autre part, la succession au hasard, dans le temps, de pontes aggrégatives : la population larvaire observée étant en effet le résultat d'éclosions de pontes échelonnées dans le temps, la juxtaposition des répartitions aggrégatives de ces pontes peut aboutir finalement à une distribution au hasard, en particulier si certains parasites ou prédateurs s'attaquent de préférence aux fortes pontes et si une certaine dispersion a lieu.

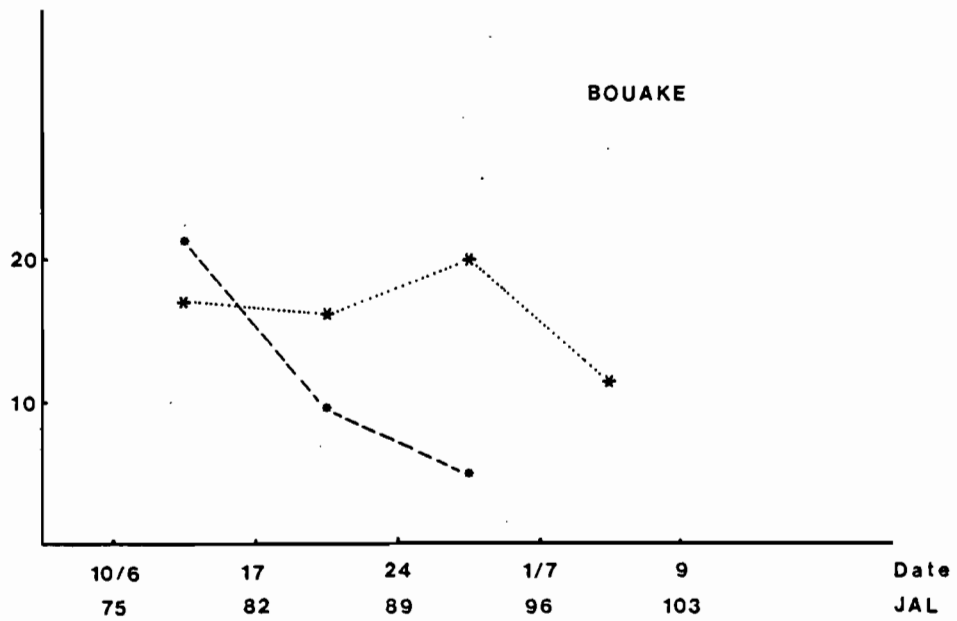
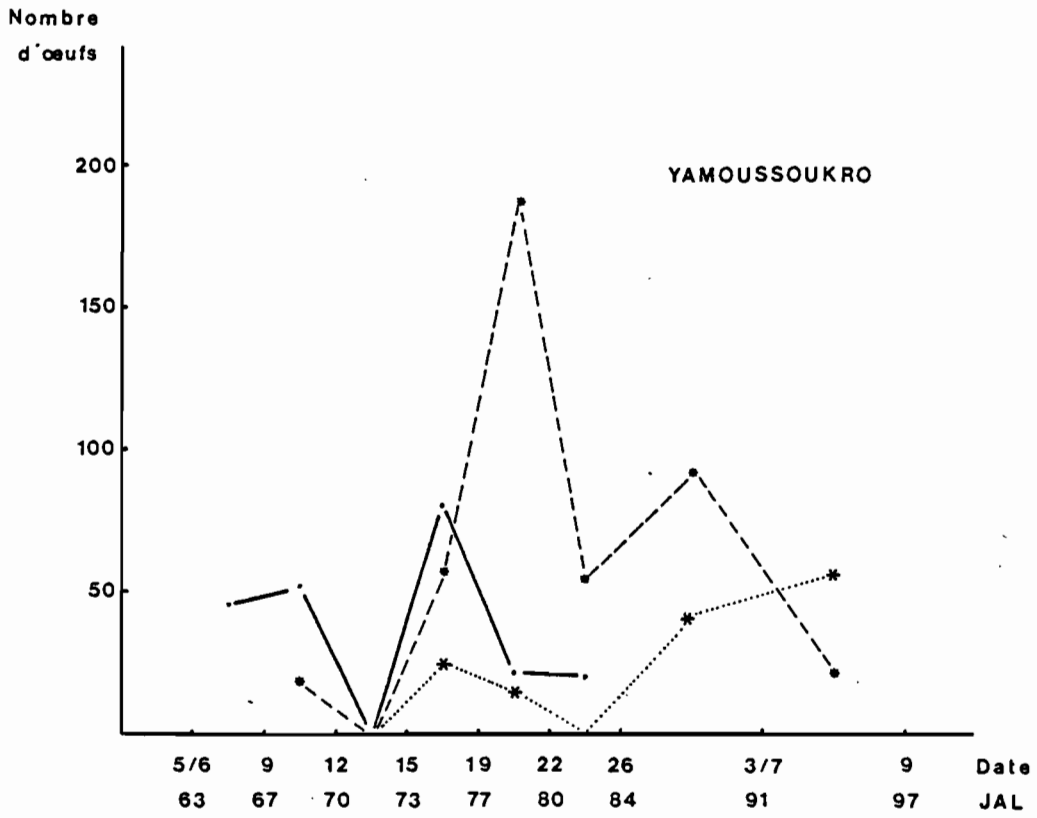
La répartition dans l'espace des larves diffère donc fondamentalement de celles des pontes et peut être ajustée en général par des lois de Poisson ou des binomiales négatives à coefficient k nettement supérieur à celui observé pour les pontes.

2.3.3. Évolution des populations dans le temps

Les trois figures n° 44 à 46 retracent l'évolution journalière des pontes entre les divers prélèvements, l'évolution des populations larvaires aux divers prélèvements en comparaison avec les pontes cumulées et la façon dont les populations larvaires se répartissent entre les divers stades au cours du temps.

Figure n°44

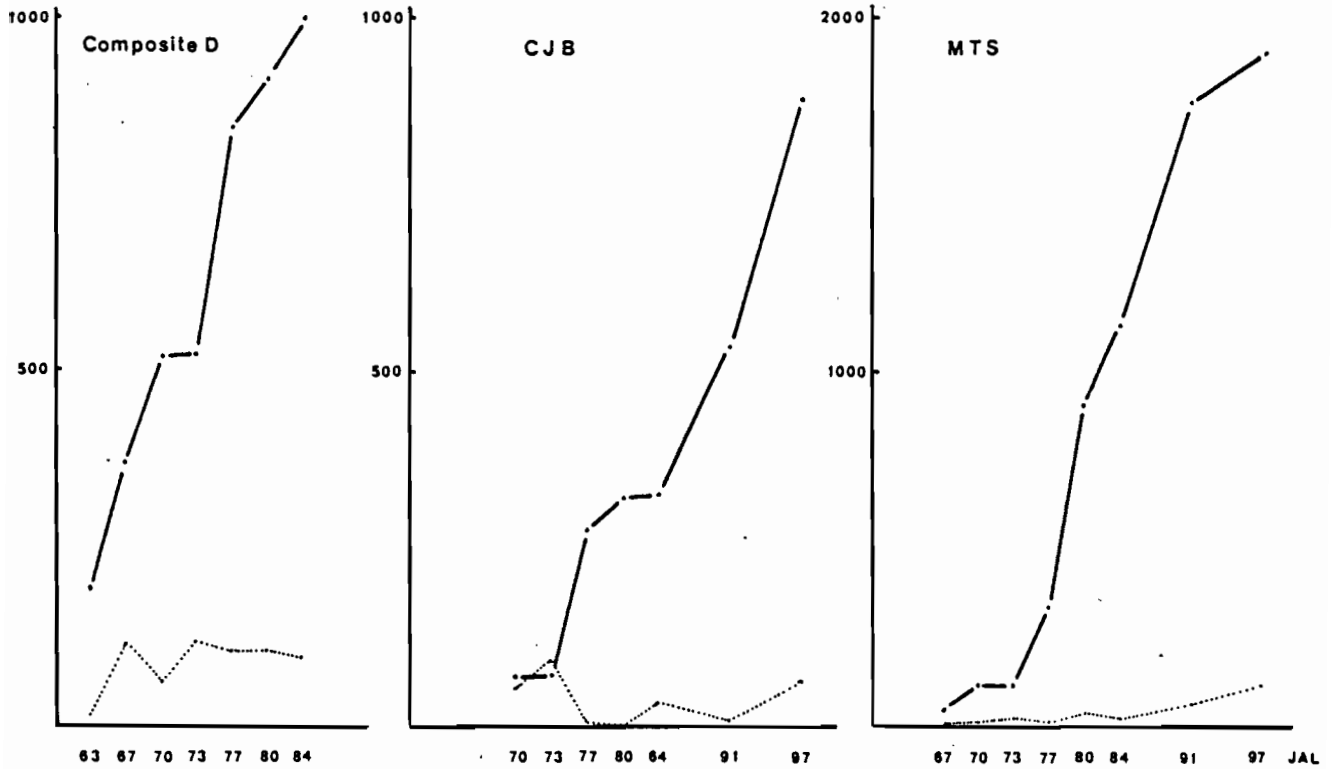
Evolution des pontes moyennes journalières en 1981



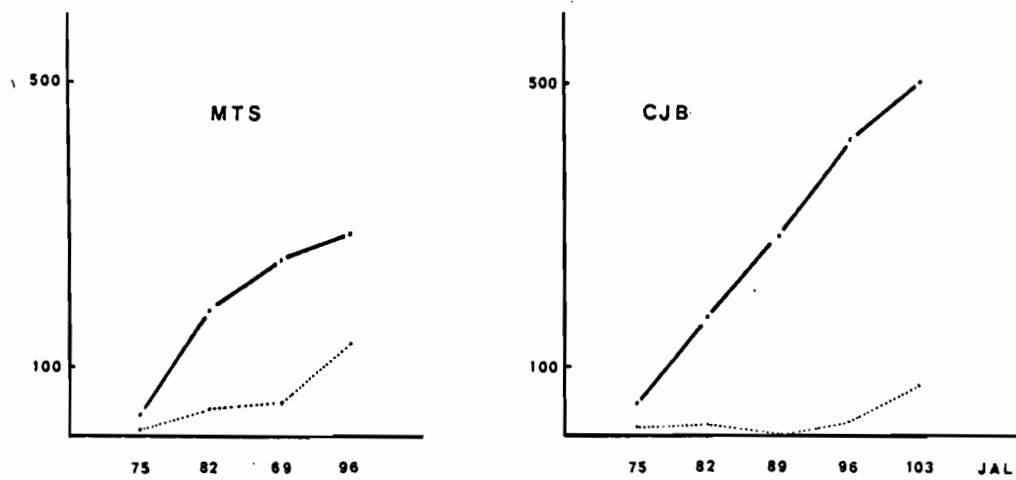
— Composite D • - - - MTS * CJB

Figure n°45

Evolution des pontes cumulées et des populations larvaires



YAMOOUSSOUKRO



BOUAKE

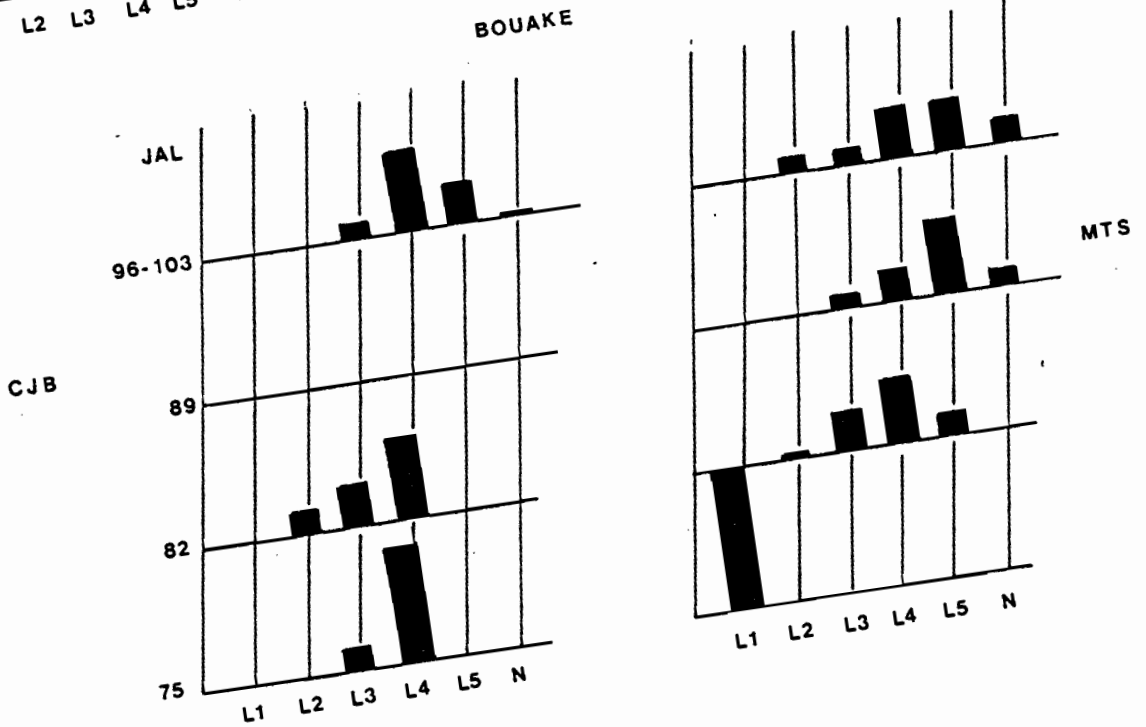
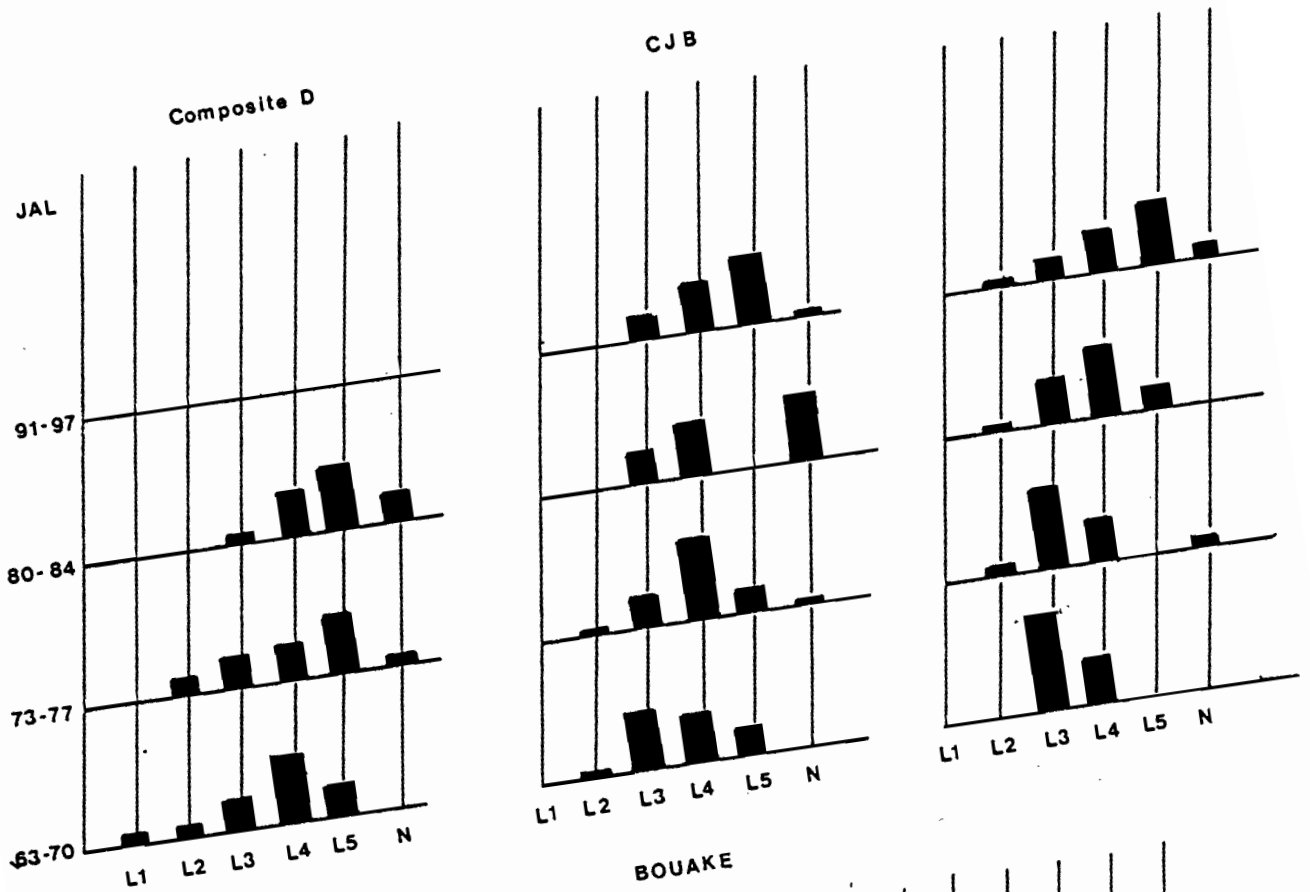
— Pontes

..... Larves

Figure n° 46

Evolution des structures des populations larvaires

YAMOOUSSOUKRO



50 % des individus rencontrés appartiennent à la classe concernée.

A Yamoussoukro l'analyse a débuté au 63^e JAL pour la variété la plus précoce (Composite D) et au 70^e JAL pour la variété la plus tardive ; à Bouaké les prélèvements ont débuté au 75^e JAL.

L'évolution des pontes dans le temps permet de constater qu'il existe une période très précise d'attractivité maximale dans le cycle pour chaque variété : ainsi à Yamoussoukro, jusqu'à 70 JAL les pontes sont fortes sur composite D, puis elles décroissent sur cette variété alors qu'elles progressent fortement sur MTS du 73^e au 90^e JAL; sur CJB c'est à partir du 80^e JAL que l'on observe des pontes relativement importantes. A Bouaké, la chute d'attractivité du MTS débute au 80^e JAL, alors que le niveau de pontes sur CJB se maintient jusqu'à 96 JAL. Les pontes à Yamoussoukro ont été nettement plus importantes qu'à Bouaké, et, au moment du suivi, la variété MTS semble un site de ponte beaucoup plus apprécié que les autres variétés : au total, du 67^e JAL au 97^e JAL, plus de 1800 oeufs pour 100 épis seront pondus sur la variété MTS, contre près de 900 pour le CJB du 67^e JAL au 97^e JAL, et 1000 pour le Composite D du 63^e au 84^e JAL.

Il faut noter toutefois que les attaques ont débuté très tôt à Yamoussoukro, sur des épis à un stade encore très jeune, puisque les populations larvaires se situent aux environs de 1 larve par épi dès les premières dissections sur le Composite D et que l'on trouve déjà des L5 sur cette variété et même sur le CJB au 70^e JAL. Sur les trois variétés on constate déjà la présence de nymphes entre le 70 et 77^e JAL.

Cependant, jusqu'au 97^e JAL, date de l'arrêt des dissections, nous n'observerons aucune exuvie nymphale indiquant l'émergence d'adultes : ceci est sans doute lié à l'échantillonnage, qui apparaît assez peu fiable avec des populations aussi réduites. En effet, on constate par exemple un échantillon parfaitement sain à Bouaké à 89 JAL, alors que des attaques avaient déjà été décelées auparavant. Par contre, lorsque les densités sont voisines de 1 insecte par épi, comme sur le composite D à Yamoussoukro, l'échantillonnage semble nettement meilleur : on observe l'évolution progressive des divers stades et l'importance croissante des stades âgés. L'hétérogénéité de l'échantillonnage à Yamoussoukro traduit, en fait, certainement, une attractivité très variable de la variété : le CJB, à cycle plus long, fait l'objet d'attaques beaucoup plus irrégulières dans le temps que les variétés plus précoces à période attractive marquée.

A la récolte, les populations larvaires détectables restent faibles, en comparaison des pontes déposées : on note, à Yamoussoukro comme à Bouaké, que le début d'une progression marquée des densités larvaires a lieu la dernière semaine de prélèvement. Ceci indique, d'une part, une mortalité importante dans la mesure où les larves âgées retrouvées restent en nombre très inférieur à celui qui aurait dû être issu des oeufs pondus environ 20 jours plus tôt, et d'autre part, suggère que d'importants dégâts pourront être occasionnés en début de stockage par toutes les larves issues des dernières pontes, en particulier dans le cas de stockage non despathé, très courant chez le paysan ivoirien.

Quelque soit la date du début d'attaque, Mussidia n'accomplit qu'un seul cycle sur une culture de maïs. Nous avons pu constater toutefois, sur du maïs d'avant-culture récolté en saison des pluies, et stocké en vrac, non despathé, que les populations de Mussidia continuaient à s'y développer, puisque, plus de deux mois après la récolte, on trouvait encore de nombreuses larves de divers stades sous les spathes. Lorsque les conditions d'humidité et de stockage sont donc particulièrement favorables, les dégâts observés au champ peuvent être considérablement amplifiés par la suite.

Indépendamment de l'aspect variétal et phénologique du maïs, divers facteurs peuvent influencer sur l'évolution des pontes. Les conditions climatiques constituent un élément sans doute essentiel permettant d'expliquer les fluctuations observées. Si l'on considère qu'un facteur tel que la densité d'adultes demeure, en moyenne, assez stable sur plusieurs jours, on peut, en première approximation, admettre qu'une variation de l'activité de ponte dans le même sens pour les diverses variétés correspond à un effet des conditions climatiques.

Si l'on examine les variations de certains facteurs climatiques à Yamoussoukro (figure n° 47), et qu'on les compare aux fluctuations des pontes (figure n° 44), on peut constater :

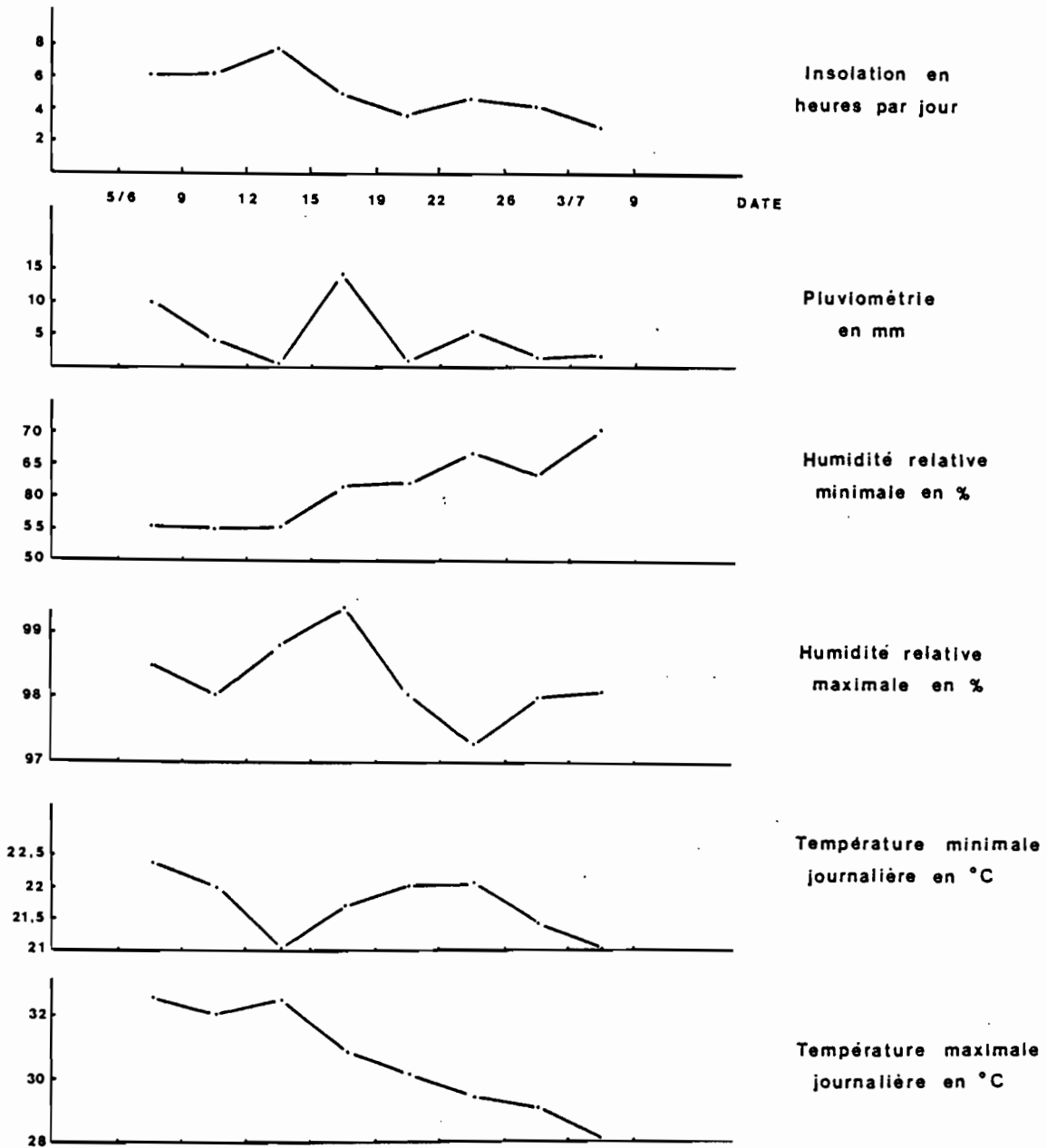
- Que l'absence totale de pontes du 12 au 15 Juin correspond à une période sèche, à température nocturne faible. Entre le 22 et 26/6 la chute des pontes est concomitante à une chute de l'humidité relative nocturne.

- Que par contre, les fortes pontes du 15 au 19/6 ont lieu alors que la pluviométrie est importante et l'humidité relative nocturne à un haut niveau.

Figure n° 47

Intensité moyenne de divers facteurs climatiques à Yamoussoukro

en 1981



Sans qu'il soit possible de conclure de façon absolue, il semble bien que les facteurs climatiques aient un impact très net sur le comportement de ponte (et sans doute d'accouplement).

2.3.4. Le parasitisme

Des nombreuses larves et chrysalides de Mussidia récoltées au cours de nos dissections, il n'en est aucune qui ait été parasitée. On peut donc considérer que les larves et nymphes de Mussidia nigrivenella sont épargnées par les parasites en zone des savanes de Côte d'Ivoire. Il est, à ce sujet, intéressant de noter que Nonveiller (1984) signale au Cameroun un Ichneumonide parasite : Hemimetopius anquilarsis Benoit, trouvé sur épi de maïs.

Si nous n'avons pas rencontré de parasite larvaire, du moins avons nous pu récolter des parasites oophages appartenant aux familles des Scelionidae et des Trichogrammatidae. Un oeuf peut héberger plusieurs Trichogrammes, mais ne semble pas pouvoir nourrir plus d'un Scéllionide.

L'étude de la relation entre le pourcentage d'oeufs parasités et le nombre d'oeufs pondus permet de mettre en évidence une relation hautement significative expliquant 70 % de la variation du pourcentage d'oeufs parasités observés :

$$\text{pourcentage d'oeufs parasités} : 0,6298 + 0,0001 x^2$$

avec x : nombre d'oeufs pondus pour 100 épis.

Cet ajustement, obtenu pour des pontes allant de 30 à 400 oeufs pour 100 épis, indique un accroissement du pourcentage d'oeufs parasités lorsque le nombre d'oeufs pondus augmente. L'analyse a été faite en effectuant la moyenne des pontes toutes variétés confondues pour chaque point d'essai.

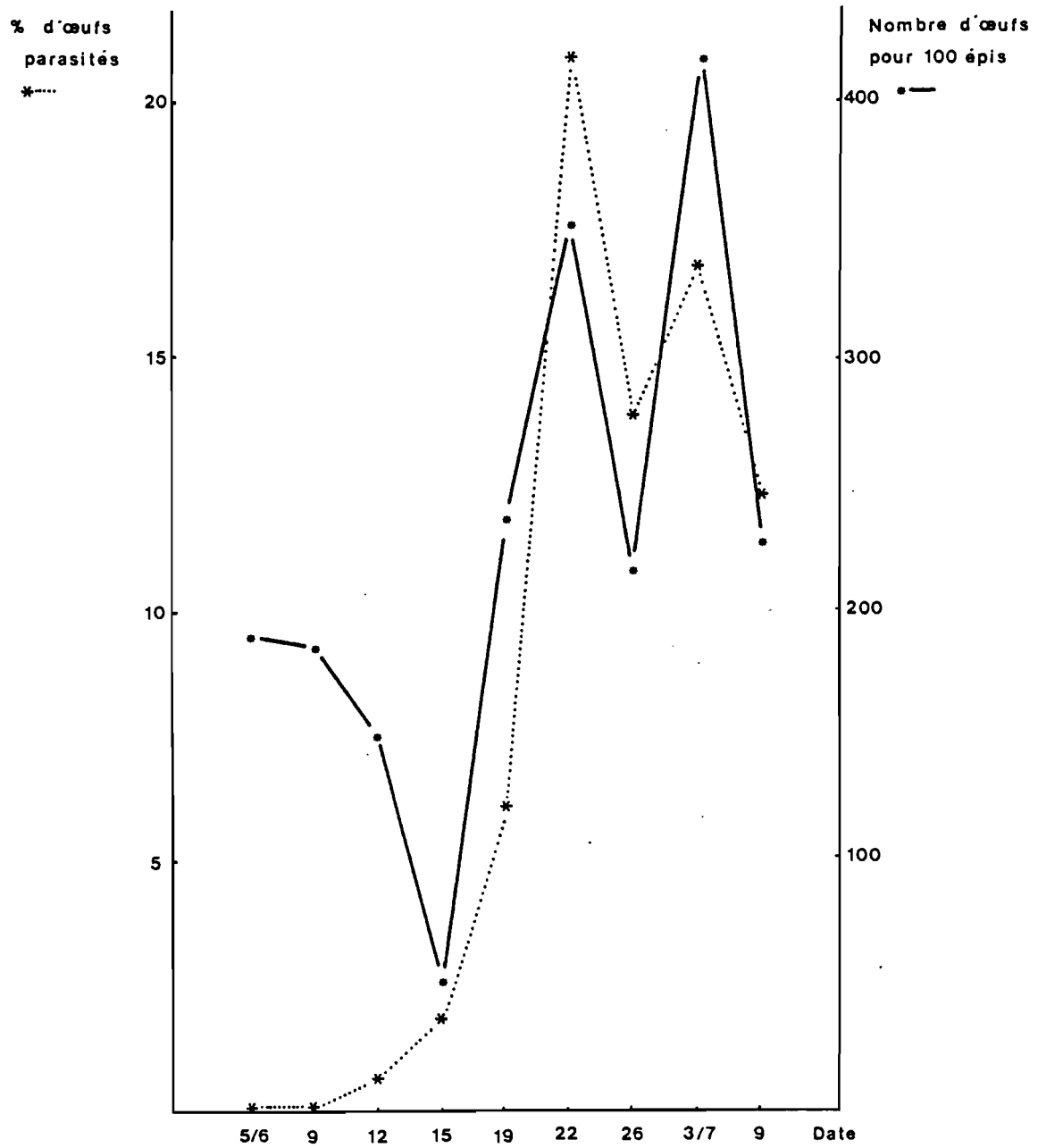
En réalité les phénomènes semblent plus complexes, et le parasitisme des oeufs semble aussi lié de façon étroite à l'époque d'échantillonnage. On peut ainsi constater, sur la figure n° 48 qu'au début des prélèvements, à Yamoussoukro, malgré des densités d'oeufs assez importantes, le parasitisme est nul ; puis il commence à croître au 15 Juin, alors que les pontes de ce jour sont très faibles. Pour les quatre premiers prélèvements, le parasitisme semble donc indépendant de la densité de l'hôte-oeuf. Par contre, après le 15 Juin, les fluctuations du

Figure n°48

Evolutions comparées du nombre d'œufs

et du pourcentage d'œufs parasités de *Mussidia nigricornis* Rag.

(Année 1981, Yamoussoukro)



pourcentage d'oeufs parasités suivent exactement, et sans délai, les variations du nombre d'oeufs par épi. Le maximum d'oeufs parasités observé est de 21 %.

2.3.5. Comportement des larves au champ

La néonate issue d'oeufs qui sont très généralement pondus sur les spathes, reste le plus souvent localisée entre les spathes, durant quelque temps après l'éclosion. Puis elle commence à parcourir l'épi, allant et venant sans sembler suivre une direction particulière. Si elle parvient donc à pénétrer dans l'épi par l'apex, entre les soies, c'est avant tout en raison de la proximité des pontes. Compte-tenu du site très précis de nourriture sur le plant, et de la durée de vie maximale d'une journée de la néonate non-alimentée, les chances de succès d'une dispersion semblent réduites. Une certaine dispersion a sans doute lieu, comme nous l'indiquions précédemment (paragraphe 2.3.2), mais, en règle générale, elle doit aboutir à la mort des larves.

La chenille qui a réussi à pénétrer dans l'épi y restera jusqu'à la nymphose. Des phénomènes éventuels de surpopulation se traduiront par des comportements de cannibalisme, mais n'aboutiront pas à des réactions de dispersion, contrairement par exemple à Eldana qui est une espèce très mobile. Dans ce domaine, Mussidia serait plus proche de Busseola qui se déplace également peu dès l'instant où il a pénétré dans la tige.

Ainsi que nous l'indiquions plus haut, il est très difficile de découvrir les jeunes stades larvaires de Mussidia dans l'épi : cela arrive parfois lorsque la larve se situe sur la rafle, cachée entre deux rangées de grains que l'on vient d'égrener. Si, par contre, elle a déjà pénétré dans un grain, on ne la décèle plus. Au cours de son développement, la chenille ronge les grains à partir de leur extrémité insérée sur la rafle. Elle ne consomme pas l'ensemble de chaque grain, mais, au contraire, se déplace d'un grain à l'autre, le long d'un rang, laissant en général intacte la partie visible extérieurement du grain. L'attaque progresse en général depuis l'apex de l'épi jusque vers la base, mais il arrive parfois de trouver des attaques débutant vers le bas de l'épi bien que la larve ait pénétré par l'autre extrémité, étant incapable de traverser l'épaisseur des spathes dans son jeune âge.

A l'approche de la nymphose, la larve perfore les spathes, préparant ainsi un orifice de sortie et tisse un cocon à l'abri duquel elle se transforme en chrysalide.

Nous n'avons jamais constaté de phénomène de diapause chez Mussidia nigrivenella sur maïs.

2.3.6. Mortalité des divers stades

Le tableau n° 17 présente l'importance de la mortalité des divers stades calculée sur la variété MTS à Yamoussoukro et sur l'ensemble des deux variétés à Bouaké (CJB et MTS). La mortalité des oeufs a été scindée en mortalité due aux parasites et en mortalité constatée des oeufs mis en élevage. Les calculs ont été effectués en comparant les populations d'oeufs du début du suivi aux populations larvaires et nymphales rencontrées après un délai correspondant à celui observé en élevage. La mortalité des très jeunes stades a été déduite par différence entre le nombre de larves âgées et le nombre d'oeufs éclos.

On peut constater :

- que la mortalité des premiers stades (L1+L2) atteint des niveaux très importants, de 70 à 90 % des larves écloses.

Les comportements de dispersion entrent sans doute pour une large part dans cette mortalité imputable également aux prédateurs, aux facteurs climatiques...

- que le parasitisme des oeufs a un rôle très variable, en raison, sans doute de la localité, mais également de la densité d'oeufs ainsi que nous l'avons vu. La mortalité des oeufs récoltés au champ puis mis en élevage est également assez variable, ce qui traduit certainement l'impact de facteurs climatiques que nous ne pouvons guère apprécier avec le peu de données dont nous disposons.

- que, par contre, la mortalité des stades protégés sous les spathes apparaît assez stable et relativement faible : la nourriture en général assurée à la larve se trouvant au contact des grains, le parasitisme inexistant, les phénomènes de compétition et de cannibalisme excessivement réduits aux densités observées sont autant de facteurs pouvant expliquer cette homogénéité.

Tableau n° 17

MORTALITE DES DIVERS STADES

Lieu et variété	Stade	Nombre initial	Pourcentage de mortalité	Nombre restant
Yamoussoukro (MTS)	Oeuf	1066	Parasitisme : 15,7 mortalité en élevage : 10,0	899 809
	L1 + L2	809	mortalité déduite : 92,4	61
	L3 à Nymphe	61	8,1	56
Bouaké (CJB et MTS)	Oeuf	389	Parasitisme : 1,7 mortalité en élevage : 2,9	382 371
	L1 + L2	371	mortalité déduite : 70,4	110
	L3 à Nymphe	110	9,1	100

La mortalité globale sur l'ensemble du développement pré-imaginal est donc de 93,3 % à Yamoussoukro et de 74,2 % à Bouaké, ce qui est tout de même considérable, et situe la densité de pontes nécessaire pour obtenir une attaque importante : ainsi, avec 1800 oeufs déposés sur 100 épis du MTS pendant tout le cycle à Yamoussoukro, on ne peut s'attendre qu'à une population larvaire légèrement supérieure à 1 larve par épi, qui ne sera pas à l'origine de dégâts importants ainsi que nous le verrons en cinquième partie.

2.4. Fluctuations spatio-temporelles des populations des foreurs de l'épi

Les figures n° 49 à n° 52 présentent l'importance des divers foreurs de l'épi en cycle unique pendant quatre années dans la zone des savanes de Côte d'Ivoire.

Dans la très grande majorité des cas, Mussidia nigrivenella domine largement les autres espèces. Toutefois, vers le nord, où Mussidia devient rare, Cryptophlebia leucotreta peut être alors aussi important en nombre, mais les populations de ces deux insectes sont alors très faibles, ne dépassant guère 2 insectes pour 10 épis. Eldana saccharina se rencontre aussi dans l'épi, dans la zone centre de la Côte d'Ivoire, parfois en quantité importante de près de 1 foreur par épi comme à Gohitafla ou à Bouaké en 1984. Ces densités élevées correspondent alors en partie à des pontes directement sur épi et non plus seulement à un passage de la tige à l'épi qui est la principale voie de pénétration dans l'épi là où Eldana est peu fréquente.

Enfin, on rencontre parfois des Sesamia calamistis (Daoukro, 1984), mais en faible quantité.

Quelque soient les années, on observe une nette décroissance des populations de Mussidia depuis le sud-est de la zone des savanes en direction du nord ou de l'ouest. Au nord et à l'ouest, les populations sont faibles ou nulles. Au sud de la zone des savanes, la densité descend rarement au-dessous de 1 foreur par épi.

Figure n° 49

Importance des divers foreurs de l'épi

à la récolte du cycle unique de 1981.

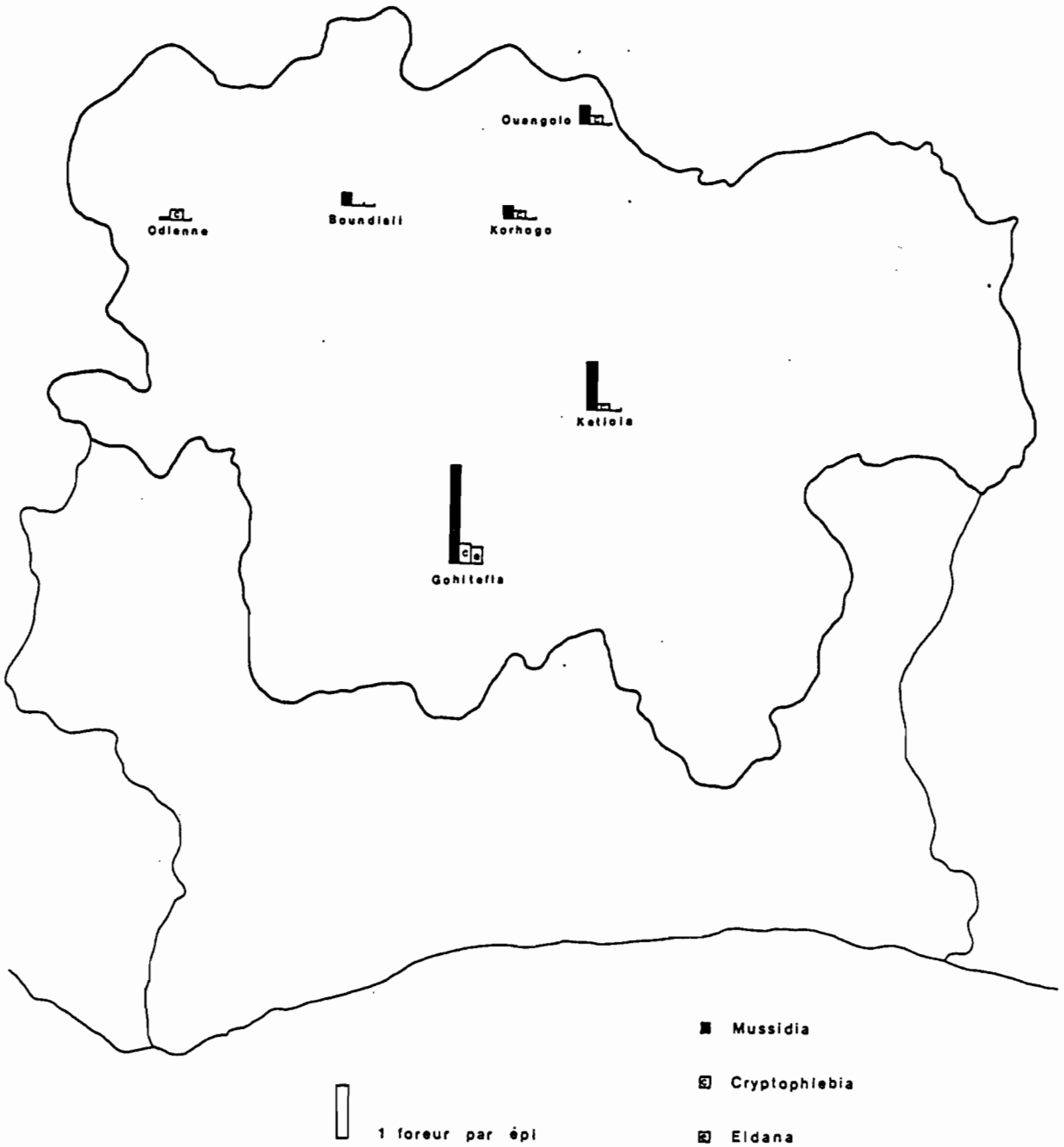


Figure n° 50

Importance des divers foreurs de l'épi
à la récolte du cycle unique de 1982.

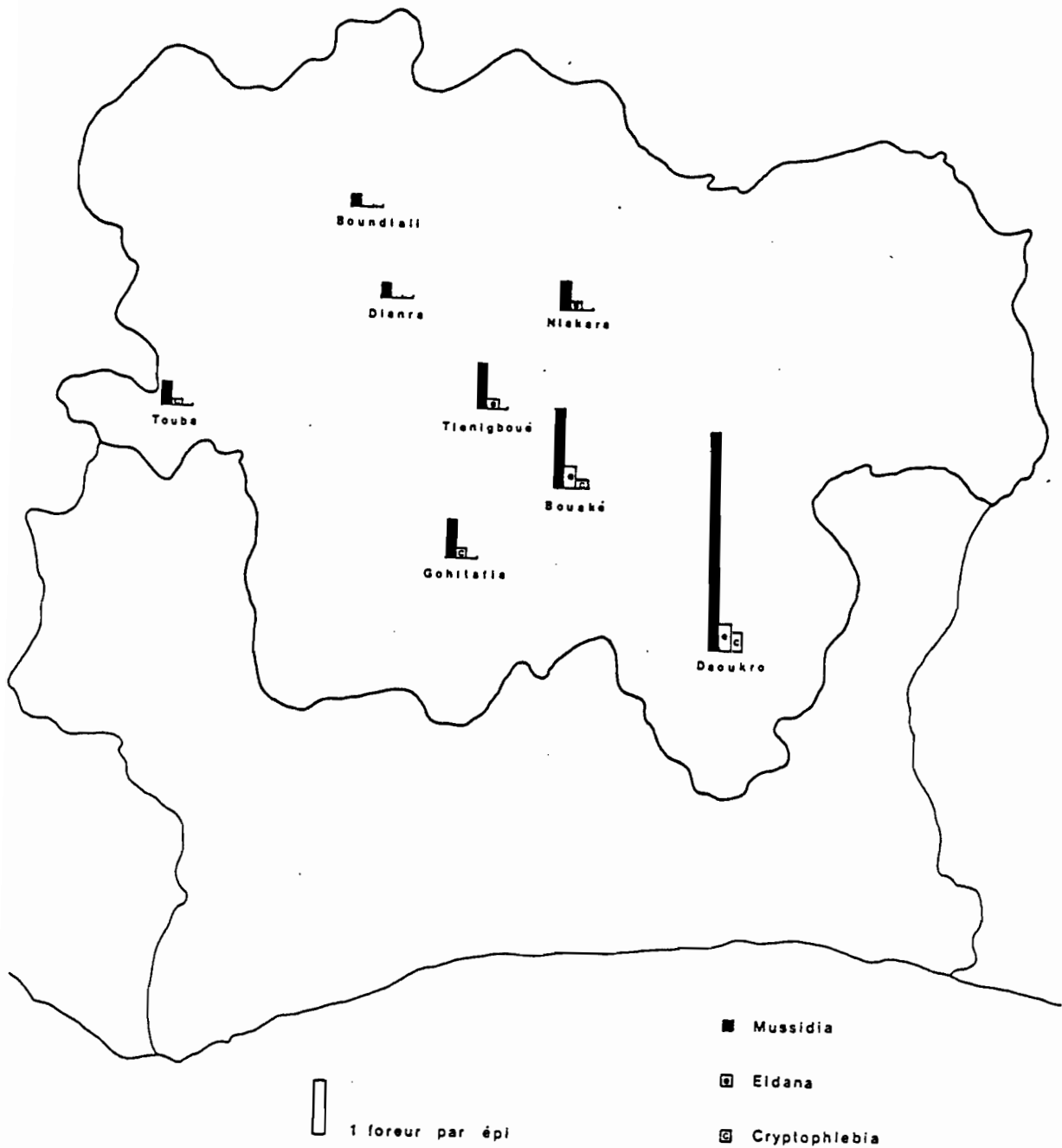


Figure n° 51

Importance des divers foreurs de l'épi à la récolte
du cycle unique de 1983.

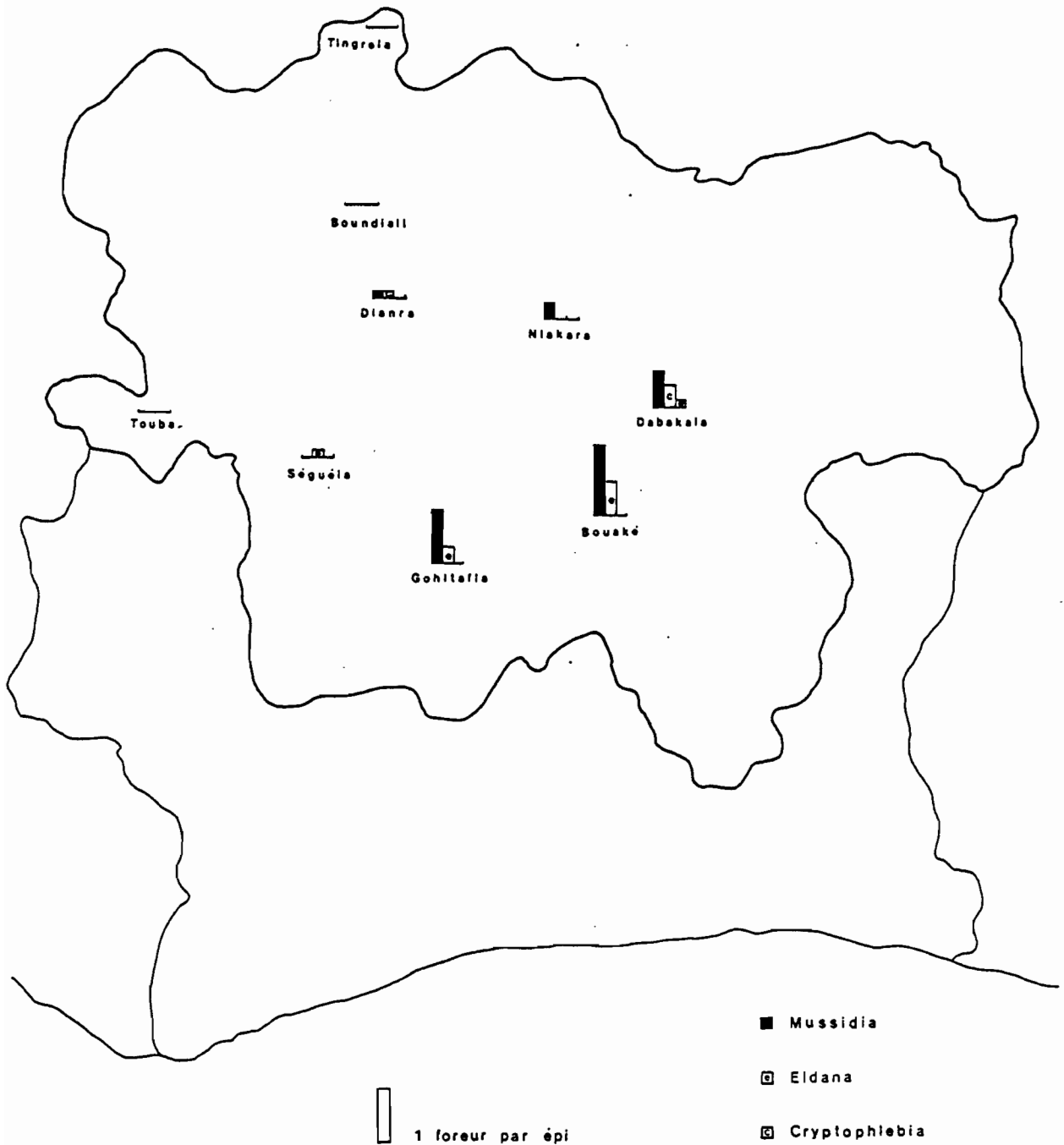
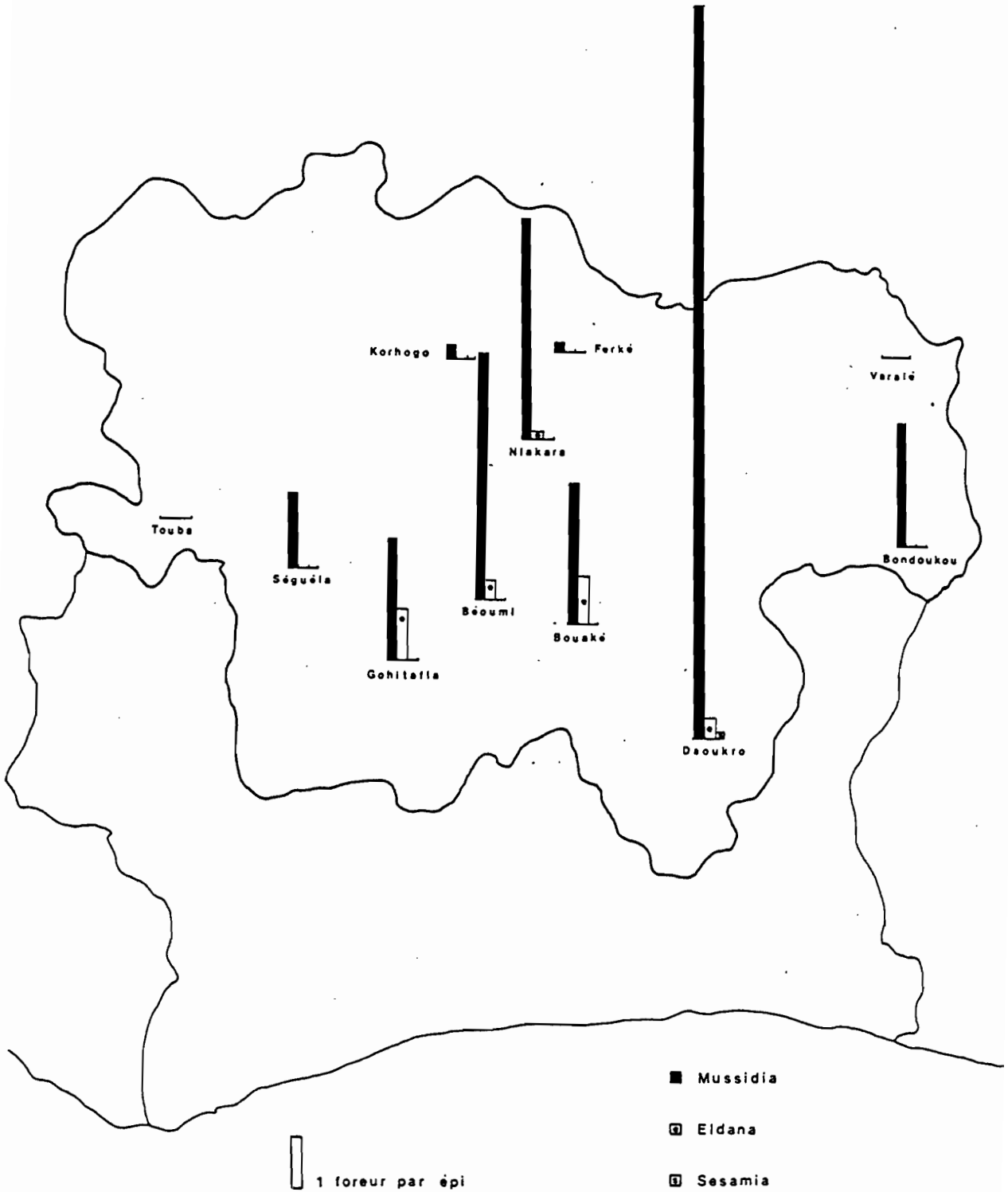


Figure n° 52

Importance des divers foreurs de l'épi à la récolte

du cycle unique de 1984 .

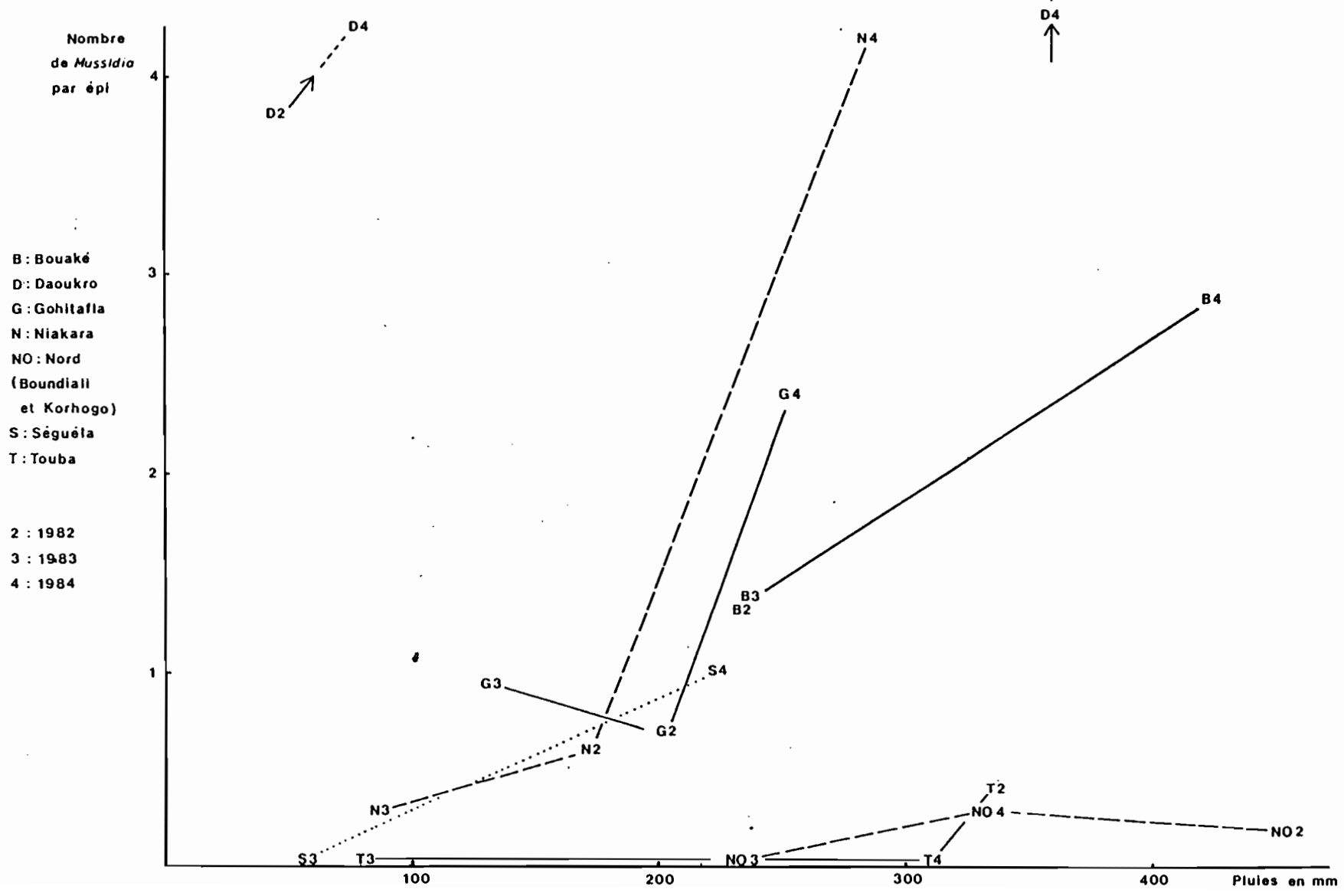


Les différences entre cycles de culture ne semblent pas toujours très marquées : pour l'année 1981, la seule où nous avons pu avoir des résultats en avant-culture, et même en contre-saison à Bouaké, on enregistrait 1,6 Mussidia par épi en contre-saison, 1,2 en avant-culture, alors qu'en cycle unique il n'y a qu'à Gohitafla que ces chiffres étaient dépassés avec 1,8 Mussidia par épi.

Les grandes lignes de la répartition spatiale évoquées plus haut sont plus ou moins atténuées suivant les années : ainsi, en année sèche (1983), l'ouest depuis la longitude de Séguéla, et le nord depuis la latitude de Boundiali sont indemnes d'attaques de Mussidia. Par contre, en année plus arrosée, Mussidia s'étend plus au nord et plus à l'ouest : on le rencontre jusqu'à Ouangolodougou et Odiénné en 1981, jusqu'à Touba en 1982 ; toutefois en 1984, année d'attaques excessivement virulentes, puisque l'on trouve plus de 4 Mussidia par épi jusqu'à Niakara, cette espèce reste pratiquement absente à Touba, à l'ouest de la zone d'études.

Hormis cette extension plus ou moins forte de Mussidia suivant les années, on ne distingue pas de différence très importante entre les densités au cours des trois premières années d'étude. Mais l'année 1984 tranche nettement, avec des densités d'au moins trois foreurs par épi dans le triangle Daoukro-Niakara-Gohitafla, et environ 2 foreurs à Bondoukou et Séguéla, de part et d'autre de ce triangle. Nous avons vu précédemment (paragraphe 2.3.3) que la pluviométrie et l'humidité relative nocturne semblaient avoir un rôle assez net sur l'importance des pontes : sur la figure n° 59 nous avons relié le niveau des attaques en chaque localité à la pluviométrie des deux derniers mois avant récolte : on peut y constater une progression nette des attaques dans la plupart des localités lorsque la pluviométrie des deux derniers mois augmente. D'autres facteurs jouent, bien naturellement : ainsi à Daoukro, malgré des pluviométries faibles, l'attaque peut être très forte : cette localité se situe en effet dans une zone de grande culture cacaoyère, où les populations de Mussidia doivent pouvoir se maintenir à des niveaux assez importants. Dans l'ouest et dans le nord, malgré des pluviométries très fortes, l'attaque reste très faible. Mais, dans le triangle Daoukro-Niakara-Séguéla, la pluviométrie des deux derniers mois avant récolte semble un facteur essentiel explicatif des fluctuations des populations, ce qui confirme les résultats obtenus avec les dénombrements de ponte sur un cycle de culture.

Figure n° 53 : Evolution des populations de *Mussidia nigrlvenella* en fonction de la pluviométrie des deux mois précédant la récolte .



Ainsi qu'on pourra le constater, nous avons retenu, pour ces estimations de densité, l'unité d'échantillonnage "épi de maïs", comme nous avons retenu l'unité d'échantillonnage "tige" pour les insectes foreurs de la tige. Dans le cas présent, plus encore que pour la tige, l'estimation des populations à l'unité de surface peut aboutir à des résultats très différents de celle obtenue sans tenir compte du nombre d'épis par hectare : en effet, en cas de forte attaque de la tige, le nombre d'épis à l'hectare peut être fortement diminué (voir 5e partie) ; toutefois, nous verrons, en 4e partie, que, quelque soit le nombre d'épis à l'hectare, la densité de Mussidia par épi ne varie pas en un même lieu : ainsi, à Daoukro, une parcelle qui contient 10 fois plus d'épis qu'une autre n'est pas moins attaquée en nombre de foreurs par épi. En fait, il semble bien que les insectes pondent aussi bien sur des épis qui seront stériles que sur des épis fécondés. Dans le premier cas, les néonates mourront, dans le second certaines d'entre elles survivront. Mais si tous les épis avaient été fécondés, le nombre d'insectes par épi n'aurait pas été modifié. Nous avons donc trouvé justifié de conserver cette estimation de densité par épi qui donne une image plus exacte de la densité réelle.

CONCLUSION

Mussidia nigrivenella Rag. est une espèce peu connue : Chiang (1978), énumérant les insectes d'importance économique majeure s'attaquant à l'épi de maïs en Afrique (d'après Ortega et de Leon), ne fait pas mention de Mussidia nigrivenella, mais cite par contre Argyroploce leucotreta (aujourd'hui Cryptophlebia leucotreta), Heliothis armigera, Busseola fusca et Sesamia spp. De même, Walker (1983) ne recense pas Mussidia parmi les principaux ravageurs de l'épi de maïs. Les résultats que nous avons obtenus, et qui font l'objet de ce chapitre, montrent combien ces énumérations sont inadaptées à la zone des savanes de Côte d'Ivoire où le seul insecte foreur de l'épi atteignant vraiment de hauts niveaux de populations est Mussidia nigrivenella.

Cet insecte est présent sur toute l'étendue du territoire ivoirien puisqu'il est rencontré également près d'Abidjan par Dabiré (1980) et Pollet (1978) (sous l'appellation "Catopyla disorphaea". Voir 2e partie).

Rare dans l'ouest et le nord de notre zone d'étude, il devient d'autant plus important lorsque l'on se dirige vers le sud, et les fluctuations annuelles des populations semblent liées à la pluviométrie de l'époque d'attaque.

Au cours du cycle de développement pré-imaginal, la mortalité est très importante, excédant parfois 90 %, dont l'essentiel provient de la disparition des néonates.

Le maximum du pourcentage d'oeufs parasités au cours de nos relevés était de 20 % et aucun parasitisme larvaire ou nymphal n'a été décelé ; l'introduction du parasite signalé au Cameroun pourrait être une méthode de lutte envisageable dans les zones à haut risque.

CONCLUSION

La biologie des principaux foreurs du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire est aujourd'hui assez correctement connue : Eldana saccharina Walker, Sesamia calamistis Hampson et Mussidia nigrivenella Ragonot ont été étudiées. Seul Busseola fusca Fuller n'a pas fait l'objet de travail de biologie particulier en Côte d'Ivoire, mais c'est un insecte qui a été très étudié dans divers pays et qui est donc bien connu.

En matière d'écologie, les données recueillies au cours de trois années permettent de situer le problème des foreurs du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire. Un des phénomènes essentiels qui ressort des résultats obtenus est l'importance des attaques dans la région sud de la zone des savanes, et la décroissance des niveaux de population lorsque l'on progresse vers le nord et vers l'ouest. On retrouve cette évolution chaque année pour les trois principaux foreurs : Eldana et Busseola pour la tige, Mussidia pour l'épi. Il semble d'ailleurs que l'on ait là une loi entomologique assez générale en Côte d'Ivoire : globalement, la pression parasitaire en zone des savanes est d'autant plus forte que l'on se dirige vers le sud, sud-est, et décroît d'autant plus que l'on va vers l'ouest ou le nord. Nous avons donné (Moyal, 1986b) des exemples d'autres cultures où l'on retrouve cette situation, qui doit être prise au sens global, certains insectes étant évidemment plus virulents dans le nord, en particulier les piqueurs.

Dans le cas des foreurs du maïs cette loi s'applique même pour Sesamia dont les seules populations réellement importantes n'ont été observées qu'à Daoukro dans nos relevés. Pour Cryptophlebia, le phénomène est moins net, mais le niveau d'attaque reste modéré sur toute la zone étudiée.

Outre cette loi mise en évidence par nos relevés, nous connaissons maintenant la répartition géographique des foreurs du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire. Les modalités d'attaque au cours du cycle ont été précisées. De bonnes connaissances existent en matière de parasitisme, qu'il faut toutefois compléter, en particulier pour Busseola.

QUATRIEME PARTIE :

ESSAIS DE LUTTE

INTRODUCTION

Les essais de lutte contre les foreurs du maïs en Côte d'Ivoire sont extrêmement rares. Dabiré (1980) a comparé des parcelles traitées chimiquement à diverses époques et avec divers insecticides à des parcelles non-traitées. Toutefois, son dispositif expérimental, sans répétitions, ne permet pas d'analyse statistique, et conduit à des interprétations délicates ; ainsi elle indique : "on note même des attaques plus fortes sur la parcelle à traitement normal, c'est pourquoi on peut se demander si le traitement a une influence tangible sur les populations d'Elidana saccharina et sur les dégâts" (...) "Malgré des populations apparemment plus nombreuses dans la parcelle traitée, le rendement de cette dernière est plus important que celui du témoin". (...) "Le rendement de la parcelle ayant reçu le traitement insecticide le plus intensif est inférieur à la parcelle traitée normalement, ce qui semble indiquer une phytotoxicité des produits aux doses utilisées".

Fontenay (1980) compare des parcelles traitées au Carbofuran à la dose de 45g de matière active à l'hectare répétée deux fois, au 20e et au 40e jour après levée. Le produit est appliqué en granulés déposés dans le cornet des plantes. Les résultats indiquent un gain de 453 kg de maïs à l'hectare en moyenne sur deux années, ce qui est statistiquement significatif. Toutefois, il ne suit pas les populations de foreurs, et son dispositif expérimental, à répétitions uniquement multilocales, regroupe des points d'observations disséminés dans toute la zone des savanes. Il est donc difficile de relier l'effet du produit à un impact sur les populations de ravageurs.

Prévoit (1981) réalise des essais en divers points de la zone des savanes, avec divers insecticides et à diverses dates de traitement. En chaque point, le dispositif expérimental comporte trois répétitions. Il conclut : "Nous n'obtenons pratiquement pas de résultats statistiquement exploitables ; seuls les contrôles sur le nombre de perforations des tiges, pour les quatre essais, et sur le nombre de grains attaqués à Ferké se révèlent significatifs. Aucun contrôle sur le nombre de foreurs présents dans les tiges ou dans les épis n'est significatif. D'autre part l'absence de différence significative au niveau des rendements (et les rendements sont le facteur le plus important à considérer, la vraie finalité justifiant les traitements insecticides) ne nous permet pas de différencier l'efficacité des cinq formulations testées du témoin". Parmi ces formulations, le carbofuran testé à la dose utilisée par Fontenay, n'apparaît guère intéressant : "les mauvais

résultats du carbofuran pouvant s'expliquer par la dose de 90 g.m.a/ha nous paraissant insuffisante ou par le fait que ce produit systémique ne serait pas véhiculé par la plante, à un stade avancé de celle-ci".

La seule conclusion possible, à l'examen de ces divers résultats, est qu'il est impossible de conclure. C'est pourquoi nous avons entrepris quelques essais en vue de clarifier la situation. Nous avons choisi la lutte chimique, bien que ce ne soit sans doute pas toujours la plus aisément vulgarisable dans le cas des cultures vivrières. Cependant c'était la seule méthode de lutte rapidement opérationnelle, dès l'instant où l'on démontrait qu'elle présentait quelque intérêt. L'étude étant entreprise en divers points, les techniques de lutte agronomique par choix des zones ou des cycles de culture les plus défavorables aux ravageurs ont également été abordées.

La sélection de variétés tolérantes ou résistantes aux foreurs est une voie qui paraît particulièrement intéressante pour les cultures vivrières, surtout lorsque la semence est gratuite. Toutefois, elle nécessite un travail d'équipe avec un sélectionneur et est une oeuvre de longue haleine ; dans un premier temps, nous avons donc testé les diverses variétés dont nous pouvions disposer, en vue simplement de détecter si certaines variétés présentaient une sensibilité aux foreurs moindre que d'autres.

1. METHODOLOGIE

1.1. Le choix des dates de traitement

Les dates de traitement pour lesquelles nous avons opté ont été tout d'abord inspirées des rapports déjà cités de Dabiré et Fontenay. Ce dernier traitait avec succès aux 20^e et 40^e jour après levée. Dabiré quant à elle déclarait : "les traitements précoces semblent inutiles. Par contre, le traitement au 75^e jour diminue les populations des ravageurs et permet d'obtenir un supplément de récolte". Nous avons donc entrepris surtout des traitements de fin de cycle visant à la fois les foreurs de la tige et de l'épi.

D'autre part, nous avons souhaité pouvoir apprécier correctement la perte totale de rendement imputable aux insectes : pour ce faire, nous avons réalisé des traitements systématiques tous les 10 jours. En outre, des traitements de sol ont été

réalisés avec un insecticide nématocide systémique, en vue de contrôler les foreurs de début de cycle et d'éventuels parasites édaphiques. Enfin, des traitements de semence ont été testés avec le même objectif.

Au cours de la première année d'essais, nous avons pu disposer de plusieurs variétés, aux cycles de durées assez différentes. Les dates des traitements de fin de cycle ont donc été plus ou moins avancées en fonction de la durée du cycle plus ou moins brève.

1.2. Le choix des modes d'épandage

Divers types de formulations ont été testés impliquant divers modes d'épandage : les formulation dites en "concentré émulsifiable" (C.E), et celles dites en "poudre mouillable", qui se diluent dans l'eau, ont été épandues à l'aide d'un appareil à dos à pression entretenue. Cet appareil a été muni d'une rampe équipée de 4 buses et montée verticalement, ce qui permettait un traitement de toute la tige de maïs. Un essai a également été entrepris en exploitation motorisée avec un tracteur enjambeur.

Les formulations granulées ont été épandues dans les cornets à l'aide de "poudreuses" constituées de flacons plastiques percés de trous aux dimensions calculées en fonction de la quantité de produit à épandre par pied.

Les photos n° 1 à 3 représentent ces divers modes d'épandage.

Enfin, les traitements de sol avec des granulés ont été effectués à la main, sur la ligne de semis, juste après le semis.

1.3. Le choix du dispositif expérimental

Les statisticiens ont mis au point de nombreux dispositifs expérimentaux, allant des plus simples (parcelles randomisées) aux plus complexes (lattices).

Notre objectif étant de comparer, d'une part, les traitements entre eux, et d'autre part, mais de façon secondaire, les variétés entre elles, nous avons opté pour le dispositif en "blocs aléatoires complets avec parcelles divisées", plus aisément dénommé split-plot selon la terminologie anglaise. Ce dispositif permettait d'obtenir les résultats souhaités, tout en restant suffisamment simple pour pouvoir être mis en place par des observateurs de niveau moyen.



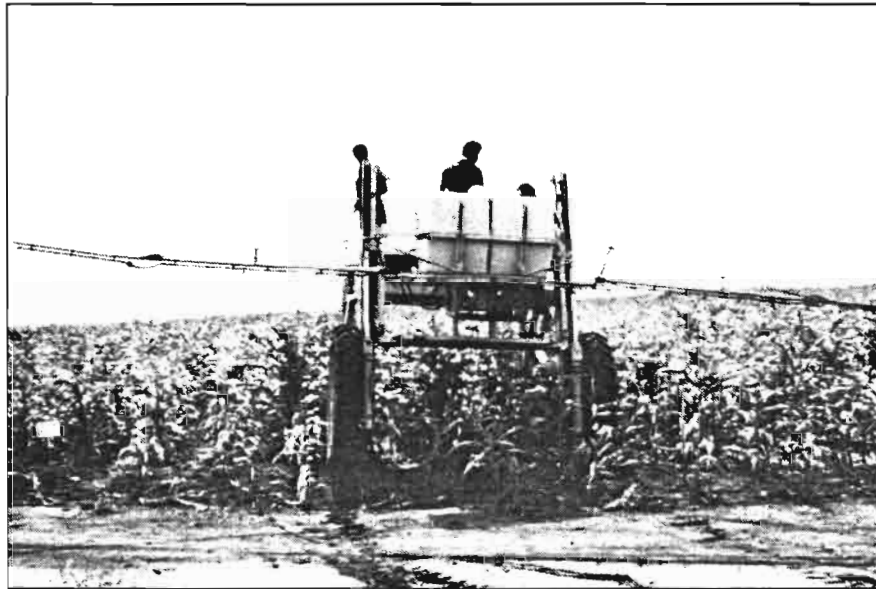
1

Photo 1 : traitement manuel en classique avec rampe verticale à 4 jets



2

Photo 2 : traitement manuel d'insecticides granulés



3

Photo 3 : traitement classique sur exploitation motorisée avec tracteur enjambeur.

Nous avons présenté en annexe 1 le protocole utilisé en 1984, avec le schéma du dispositif expérimental : on pourra constater que chaque parcelle élémentaire comprend 5 lignes : la ligne centrale sert à estimer le rendement ; les deux lignes entourant cette ligne centrale servent à estimer le niveau des populations de ravageurs ; les deux lignes extérieures constituent les bordures. Compte-tenu d'une densité au semis de 62 500 pieds par hectare, cela correspond à un nombre de 125 plants qui pourront être récoltés sur une ligne de 25 mètres si aucun pied n'est détruit avant la récolte ; c'est un nombre courant dans l'expérimentation agronomique sur maïs (P. Quidet, 1962).

Lorsque nous avons pu comparer à la fois deux variétés et divers traitements insecticides, nous avons donc adopté un dispositif en split-plot à deux facteurs : le premier facteur, la variété, n'est répété que deux fois, alors que pour les traitements insecticides nous avons en général 8 répétitions par point d'observation. Dans ce cas la surface des essais était de 5000 m².

Lorsque nous n'avons pu comparer diverses variétés entre elles, ou lorsque les surfaces demandées ne nous ont pas été accordées, nous avons adopté un dispositif en blocs de Fisher où seuls les traitements insecticides étaient comparés, avec 4 répétitions par objet.

En 1982, année où nos études ont débuté, nous avons pu mettre en place des essais en split-plot, comparant variétés et traitements insecticides, sur d'assez nombreux points d'observation, couvrant correctement la zone des savanes. En 1983, devant la nécessité de réduire les surfaces de nos essais, nous avons limité les split-plot à la zone centre et ouest, et mis en place des essais en bloc de dimensions réduites sur quelques points d'observation du nord. Enfin, en 1984, nous avons encore réduit nos surfaces d'essai et nous avons donc opté pour la suppression des essais du nord, pour nous concentrer sur quelques points d'observation du centre et de l'ouest de la zone.

1.4. Les divers insecticides testés

Les insecticides que nous avons utilisés dans nos essais appartiennent à cinq grandes familles : les insecticides organo-chlorés, les insecticides organo-phosphorés, les insecticides carbamates, les insecticides pyréthrinoides, et les insecticides "biologiques".

Le choix de tel ou tel insecticide était motivé par diverses considérations :

- le carbofuran, qui est un carbamate, avait déjà été testé, nous l'avons vu en introduction, mais les résultats obtenus étaient assez contradictoires. Il convenait donc de le retester aux doses employées. Ce produit, étant vulgarisé sur riz irrigué, présentait également l'avantage d'être connu du paysan et facilement disponible.
- Les pyréthrinoides correspondaient, à nos yeux, aux insecticides les plus intéressants en raison de leur toxicité très faible pour l'homme, et de leur efficacité souvent excellente sur les larves de Lépidoptères. A titre d'exemple, la Deltaméthrine peut être utilisée en France jusqu'à la récolte pour toutes les cultures, alors que, pour la plupart des insecticides, il est interdit de traiter durant une période plus ou moins longue précédant la récolte. Les doses que nous avons adoptées ont été inspirées des résultats obtenus par nos collègues travaillant sur cotonnier en Côte d'Ivoire, qui obtiennent des contrôles corrects de certaines chenilles du cotonnier avec des pyréthrines. Les pyréthrines présentent, en outre, l'avantage d'avoir une bonne rémanence.
- Des organo-phosphorés ont été testés en vue de trouver, si besoin était, une solution de remplacement aux pyréthrines : ces dernières, bien que très efficaces contre les larves de lépidoptères, peuvent présenter quelques inconvénients dès l'instant où elles sont utilisées de façon généralisée sur de grandes surfaces : ainsi, en France, le traitement avec des pyréthrinoides liquides sur maïs contribue à une augmentation des populations de pucerons contre lesquels il devient nécessaire de lutter (Naibo, 1982 ; A.C.T.A., 1985).
- les insecticides organo-chlorés ont mauvaise presse, à juste titre. Toutefois certains de ces insecticides présentent un grand intérêt, et sont encore largement utilisés. Dans le cas particulier des foreurs du maïs, l'Endosulfan est recommandé aussi bien en France qu'en Afrique du Sud. Nous avons donc trouvé justifié de le tester sur les ravageurs du maïs en Côte d'Ivoire. Pour être tout à fait exact, il convient de préciser que cet insecticide, proche des organo-halogénés, en diffère toutefois par la présence d'un atome de soufre dans sa formule (ACTA, 1985).
- Enfin nous avons testé un insecticide d'origine biologique, utilisé, en particulier, en France, sur la pyrale du maïs, le *Bacillus Thuringiensis*.

Nous avons également essayé, mais sur une année seulement, un insecticide ne se rattachant à aucune des familles mentionnées ci-dessus, le Thiocylam, caractérisé par son cycle à base d'atomes de soufre. On peut toutefois le rapprocher du groupe des insecticides d'origine biologique car c'est un composé analogue à la nereistoxine, une toxine extraite des annélides marins du genre Lumbrinereis.

Nous avons résumé les principales caractéristiques des insecticides que nous avons utilisés dans le tableau n° 18 .

1.5. Les dates de suivi parasitaire

La thèse de Dabiré (1980) nous apprenait, d'une part, que les "populations (de Sesamia calamistis) ainsi que celles de Busseola demeurent très faibles (à Bouaké)" et, d'autre part, qu'Eldana saccharina, le principal foreur, attaquait à une date variant entre le 65^e et 85^e jour.

Ces considérations ont été à l'origine du choix de nos dates de relevé en 1982 : pour cette première année d'études, où nous avons un réseau assez étendu d'essais et où il fallait former les observateurs, nous avons adopté un suivi restreint, se situant environ au milieu de la période d'attaque d'Eldana, au 80^e jour après levée. En raison de l'impossibilité d'être présent en tous les points d'observation au moment voulu, cette date a dû être retardée en certains lieux dans la pratique. La deuxième année, nous avons augmenté le nombre de relevés : un suivi plus précoce nous semblant nécessaire en vue de mieux comprendre l'impact des traitements, nous avons commencé les relevés au 50^e jour après levée ; les observateurs sur le terrain étant désormais formés, notre présence ne s'imposait plus pour toutes les dissections, qui ont été effectuées tous les 10 jours à partir du 50^e jour après levée. Ces relevés plus précoces en 1983 nous ont permis de constater qu'en certains lieux l'attaque débutait très tôt dans le cycle, et que les relevés au 50^e jour après levée étaient déjà trop tardifs pour pouvoir comprendre l'évolution des infestations. En 1984, nous avons donc débuté les relevés au 20^e jour après levée, et les avons renouvelés tous les vingt jours. Ce délai nous a permis d'être présent durant 4 dissections sur les 5 effectuées sur chaque point d'observation.

Tableau n° 18

Caractéristiques des principaux insecticides testés

Nom de la matière active	Nom commercial en Côte d'Ivoire	Famille d'insecticides	Formulation testée	Toxicité sur rat de la matière active		Cultures habituellement traitées avec cet insecticide
				DL 50 orale mg/kg	D J A mg/kg	
Endosulfan	Thiodan	Organo-halogénés	Granulé et concentré émulsifiable	110	0,008	nombreuses cultures : pomme de terre, oléagineux, céréales, cotonniers, maïs....
Fénitrothion	Sumithion	Organo-phosphoré	concentré émulsifiable	250 à 500	0,001	nombreuses cultures : arbres fruitiers, légumes, maïs.
Profénofos	Curacron	Organo-phosphoré	Granulé	358	?	essentiellement sur maïs en Europe. Sur cotonnier en Afrique.
Chlorpyrifoséthyl	Dursban	Organo-phosphoré	Granulé	163	0,01	toutes cultures en traitement de sol et cotonnier, maïs en traitement aérien.
Phoxime	Volaton	Organo-phosphoré	Granulé	2 170	0,15	toutes cultures en traitement de sol et essentiellement maïs en traitement aérien.
Carbofuran	Furadan	Carbamate	Granulé	8 à 14	0,01	surtout en traitement du sol sur betterave, maïs, riz en traitement de semence.
Carbosulfan	Marshall	Carbamate	Poudre	182	20	en traitement de sol et de semence
Deltaméthrine	Décis	Pyréthrine	Concentré émulsifiable	130	0,01	nombreuses cultures fruitières, légumières, céréalières, industrielles.
Cyperméthrine	Ripcord	Pyréthrine	Granulé	251	0,05	idem deltaméthrine.

Tableau n° 18 (suite)

Caractéristiques des principaux insecticides testés

Nom de la matière active	Nom commercial en Côte d'Ivoire	Famille d'insecticides	Formulation testée	Toxicité sur rat de la matière active		Cultures habituellement traitées avec cet insecticide
				DL 50 orale mg/kg	D J A mg/kg	
Fenvalérate	Sumicidin	Pyréthrine	Concentré émulsifiable	450	0,007	idem Deltaméthrine.
Bacillus thuringiensis, souche HD-1	Thuricide HP	Biologique	poudre mouillable	non toxique à très forte dose	-	Toutes cultures et forêts essentiellement contre larves de lépidoptères.
Thiocyclam hydrogénéoxalate	Evisect S	analogue aux insecticides biologiques	poudre mouillable	310	0,02	essentiellement sur pomme de terre contre Leptinotarsa, et insectes des forêts.

1.6. Les méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyse que nous avons utilisées sont les méthodes classiques de l'Analyse de Variance : cette analyse permet de déterminer si l'on peut admettre que des différences significatives existent entre les objets* ou les niveaux* comparés. La différence sera dite significative (inscrite S dans nos tableaux) lorsque la probabilité de ne pas se tromper en admettant la différence sera de $p = 0,95$, et la différence sera dite Hautement significative (HS) lorsque cette probabilité sera égale à $0,99$.

Afin de pouvoir appliquer correctement cette analyse de variance, il est nécessaire de respecter, autant qu'il est possible, les conditions de validité du modèle théorique ; ces conditions sont les suivantes :

- distribution des erreurs au hasard, indépendamment et normalement.
- homogénéité des variances des différents échantillons.
- non-corrélation entre les variances et les moyennes des différents échantillons.
- additivité des effets principaux.

Divers tests ont été mis au point afin de vérifier que ces diverses conditions sont satisfaites. En pratique, lorsque les échantillons s'éloignent par trop des conditions requises, une transformation adéquate des données permet, en général, de satisfaire aux exigences du modèle.

* Quelques précisions sur les termes employés :

Facteur : si l'on compare d'une part des variétés, d'autre part des traitements insecticides comme il a été indiqué précédemment dans le cas du split-plot, la variété constitue le 1er facteur, le traitement insecticide est le deuxième facteur.

Niveau : chaque facteur est étudié à plusieurs "niveaux", chacune des variétés testées constituant par exemple un niveau du facteur "variétés".

Traitement ou objet : dans le cas où l'on utilise deux variétés et 6 traitements insecticides, on détermine 12 "objets" ou "traitements" correspondant à chaque combinaison "variété-traitement insecticide".

Lorsqu'un seul facteur, par exemple le traitement insecticide, est étudié, le niveau est équivalent à l'objet. Dans l'étude suivante seuls les traitements insecticides ont reçu des numéros, les variétés étant toujours désignées par leur nom.

Nous avons réalisé un programme sur calculatrice de poche Hewlett-Packard (HP) 41 CV permettant de vérifier si les principaux points à respecter le sont effectivement, et de déterminer la transformation la mieux adaptée. Ce programme est détaillé en annexe 2, ainsi que le programme que nous avons mis au point pour l'analyse de variance des split-plot à deux ou trois facteurs.

L'analyse de variance étant réalisée, il devient nécessaire de classer les divers niveaux de chaque facteur l'un par rapport à l'autre. Divers tests existent pour comparer les moyennes. Certains sont considérés comme assez mauvais, tels que celui de "la plus petite différence significative" (p.p.d.s) (Philippeau, 1982). Dagnélie (1980), pour sa part, considère que le test de Newman-Keuls "semble assurer le meilleur équilibre entre les deux risques d'erreur (de première et de deuxième espèce)". Nous avons choisi cependant le test de Duncan (new multiple range test), qui est très couramment employé en agronomie : c'est un test en réalité très voisin de celui de Newman-Keuls mais qui donne des résultats plus proches du test p.p.d.s. C'est un test considéré comme assez correct par Philippeau (1982) de même que par Little et al (1978).

En pratique, ce test compare entre elles chaque moyenne, et attribue une lettre à chacune d'entre elles. Deux moyennes étant affectées de la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles.

Pour tous nos essais, ce test a été réalisé au niveau $p = 0,95$. Nous avons réalisé un programme sur HP 41 CV permettant de réaliser ce test (annexe 2).

2. RESULTATS

2.1. Essais de lutte chimique

2.1.1. Foreurs des tiges

2.1.1.1. Introduction

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux d'une part, et sous forme de graphiques d'autre part. Les tableaux indiquent la valeur du coefficient F de l'analyse de variance, sa signification, et le coefficient de variation (CV) du facteur considéré. Dans le cas des tableaux ayant trait aux nombres d'insectes, les populations du témoin sont citées à titre indicatif : ce sont en fait, ainsi que

sur les graphiques, les données obtenues après retransformation des données qui ont dû, en général, être transformées pour effectuer l'analyse de variance ; ces valeurs peuvent donc parfois être légèrement différentes des valeurs réellement observées.

En ce qui concerne les graphiques, nous nous sommes limités aux points d'observation où des différences significatives ont été détectées, soit au niveau des attaques d'insectes, soit au niveau du rendement.

Pour les deux premières années (1982 et 1983), nous avons représenté simplement le rendement et le niveau des populations au 80e jour après levée pour chacun des traitements insecticides. Pour 1984, l'analyse complète est présentée, portant sur le nombre d'insectes, le nombre de trous visibles sur la tige, le pourcentage d'entre-noeuds attaqués pour chacun des relevés, et le rendement ; nous avons également figuré la progression au cours du cycle pour chacun des traitements effectués du nombre de ravageurs et des dégâts. Au-dessus de chacun des histogrammes comparant l'efficacité des traitements, nous avons indiqué la valeur de chaque traitement après retransformation et la lettre affectée à ce traitement à l'issue du test de Duncan.

Le terme de "traitement" employé sur les graphiques n'a pas le sens statistique que nous avons défini ci-dessus, mais le sens pratique de "traitement chimique". Il correspond donc, suivant la terminologie statistique, au "niveau" du facteur "traitement chimique".

Quelques abréviations ont été employées, en particulier au niveau des graphiques ; nous les explicitons ci-dessous :

- MA : Matière active.
- PC : Produit commercial.
- CE : Concentré émulsifiable.

Enfin, il convient de préciser que tous les résultats de rendement indiqués dans notre étude correspondent à un grain se situant en moyenne à 20 % d'humidité relative.

2.1.1.2. Essais de 1982
.....

Les résultats obtenus en 1982 sont exposés sur les tableaux n° 19 à 21 et sur les figures n° 54 à 57. Ils indiquent des attaques très faibles en avant-culture se traduisant, logiquement, par une absence de différence significative entre les divers niveaux du facteur "traitement insecticide".

Les analyses des essais du cycle unique ou second cycle ne révèlent des différences significatives qu'en zone "centre-sud" (Bouaké, Tiénigboué, Gohitafla) et "sud-est" (Daoukro). Ailleurs, l'absence de différence s'explique par de faibles attaques.

L'examen des graphiques concernant les essais significatifs permet de constater :

- A Tiénigboué, où l'attaque reste relativement faible (77 chenilles pour 100 plants au 80e JAL), de nettes différences apparaissent au niveau du nombre de foreurs : la Deltaméthrine se comporte bien, alors que le Fenvalérate ne se distingue pas du témoin non-traité. Par contre, en ce qui concerne le rendement, seule la Deltaméthrine à 12g MA/ha tous les 10 jours est significativement supérieure au témoin.

- A Bouaké, où les traitements sont à dominante de Fenvalérate, on constate une action correcte sur les foreurs. Le niveau 5, où le Fénitrothion succède au Fenvalérate, procède d'une erreur de l'observateur : les parcelles concernées devaient initialement recevoir 4 traitements au Fenvalérate, et les deux traitements au Fénitrothion devaient constituer le niveau 4. Le niveau 6 ne se distingue pas du témoin, en raison, sans doute, des attaques assez tardives. Du point de vue du rendement, seul le traitement systématique tous les 10 jours se distingue significativement du témoin non-traité.

- A Gohitafla, où les attaques sont plus importantes, le Fenvalérate à 60g MA/ha tous les 10 jours se comporte bien sur les foreurs et est significativement supérieur à tous les autres traitements. Le niveau 5 (Fenvalérate 60g MA/ha tous les 15 jours à partir du 60e JAL) est la seule autre combinaison de traitements significativement supérieure au témoin. Le Fénitrothion et le Carbofuran dans le sol ne se distinguent pas du témoin non-traité. En ce qui concerne le rendement, on retrouve le schéma observé précédemment : seul le niveau 2 est supérieur au témoin.

Tableau n° 19

Résultats des analyses de variance concernant le rendement des essais effectués en 1982 en premier cycle et niveau d'attaque sur le témoin non-traité.

Localisation	Traitements insecticides		Variétés		Interactions traitement-variété F	Nombre d'insectes par tige sur le témoin
	F*	CV* en %	F*	CV* en %		
Bouaké	1,51 (NS)	14,3	-	-	-	0,10
Gohitafla	0,96 (NS)	18,2	8,34 (NS)	35,2	0,69 (NS)	0,006
Daoukro	0,96 (NS)	18,2	3,69 (NS)	16,3	0,04 (NS)	0,16

* F = Rapport de la Variance facteur sur la variance résiduelle

* CV = Coefficient de variation : rapport de l'écart-type résiduel sur la moyenne.

Tableau n° 20

Résultats des analyses de variance concernant le nombre d'insectes présents vers le 80 e jour après levée dans les essais effectués en 1982 en cycle unique ou deuxième cycle.

Localisation	Traitements Insecticides		Variétés		Interaction variété-traitement	Nombre d'insectes par tige sur le témoin non traité
	F*	CV*en %	F*	CV*en %		
Tingréla	-	-	-	-	-	0
Boundiali	-	-	-	-	-	0
Dianra	1,70 (NS)	150,6	1,60 (NS)	82,6	1,50 (NS)	0,03
Touba	1,15 (NS)	62,2	4,22 (NS)	33,7	2,59 (NS)	0,5
Niakara	1,26 (NS)	62,2	3,36 (NS)	13,7	0,29 (NS)	0,45
Tiénigboué	6,63 (HS)	49,9	0,06 (NS)	70,0	1,28 (NS)	0,8
Bouaké	13,12 (HS)	33,4	90,3 (HS)	10,3	0,7 (NS)	1,14
Gohitafla	16,80 (HS)	19,0	0,07 (NS)	21,6	2,90 (NS)	3,66
Daoukro	30,05 (HS)	9,6	1,07 (NS)	13,01	0,75 (NS)	8,6

* F = Rapport de la variance facteur sur la variance résiduelle

* CV = Coefficient de variation : rapport de l'écart-type résiduel sur la moyenne.

Tableau n° 21

Résultats des analyses de variance concernant le rendement des essais effectués en 1982
au cycle unique ou deuxième cycle.

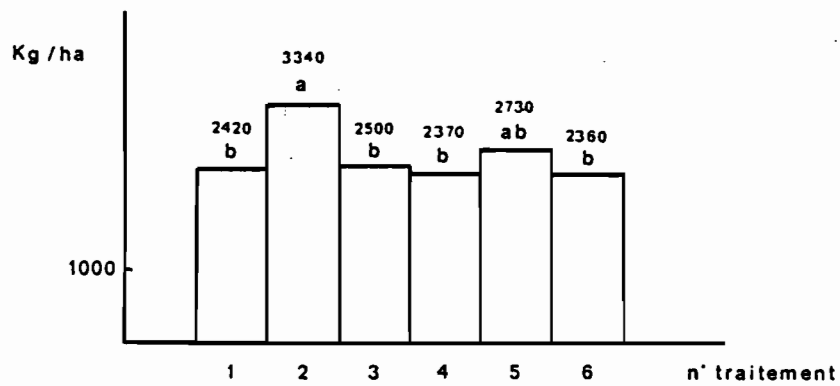
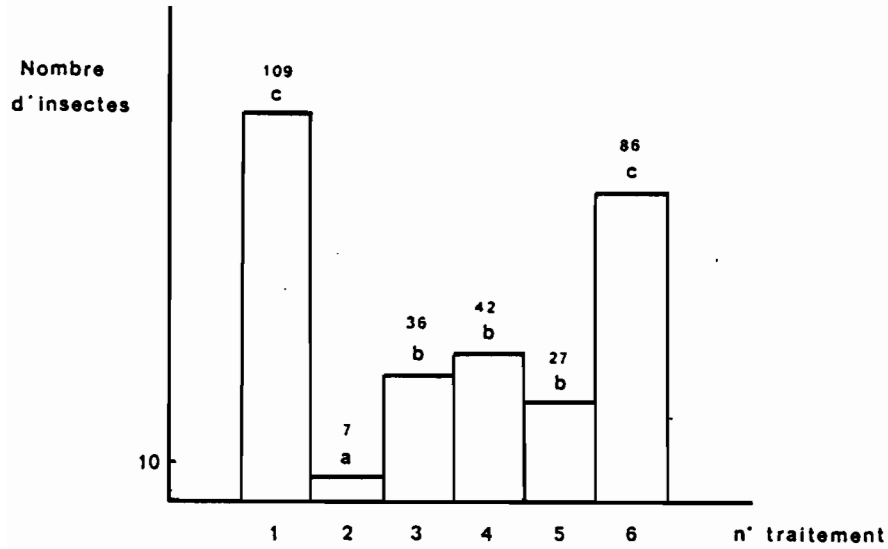
Localisation	Traitements insecticides		Variétés		Interaction Traitement-variété
	F*	CV*en %	F*	CV* en %	F*
Tingrela	0,70 (NS)	20,3	11,01 (S)	20,8	0,19 (NS)
Boundiali	1,38 (NS)	16,6	76,9 (S)	9,39	2,02 (NS)
Dianra	1,14 (NS)	13,5	1,96 (NS)	32,5	1,25 (NS)
Touba	0,84 (NS)	19,4	0,37 (NS)	30,8	2,12 (NS)
Niakara	1,42 (NS)	17,4	36,5 (HS)	22,7	0,49 (NS)
Tiénigboué	3,11 (S)	24,6	0,05 (NS)	35,9	0,42 (NS)
Bouaké	3,05 (S)	23,4	9,09 (NS)	56,2	0,88 (NS)
Gohitafla	4,49 (HS)	16,1	0,15 (NS)	48,1	0,36 (NS)
Daoukro	61,28 (HS)	64,2	0,53 (NS)	62,9	0,98 (NS)

*F = Rapport de la variance facteur sur la variance résiduelle

* CV = Coefficient de variation : rapport de l'écart-type résiduel sur la moyenne.

Figure n° 54

BOUAKE 1982 - Total foreurs dans 100 tiges à 80 JAL et rendements -

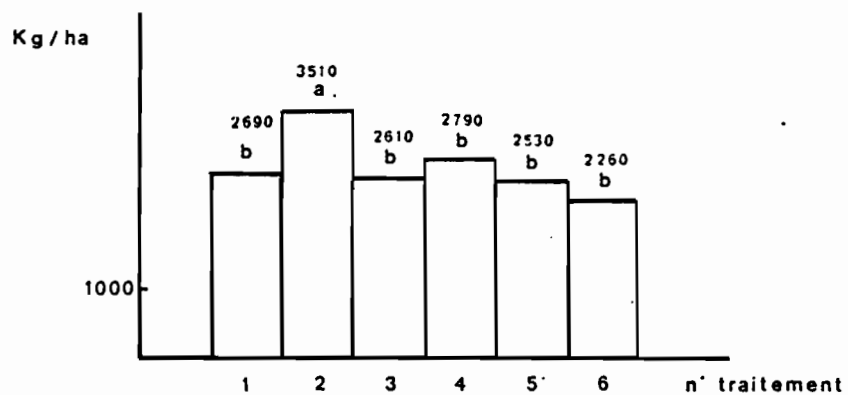
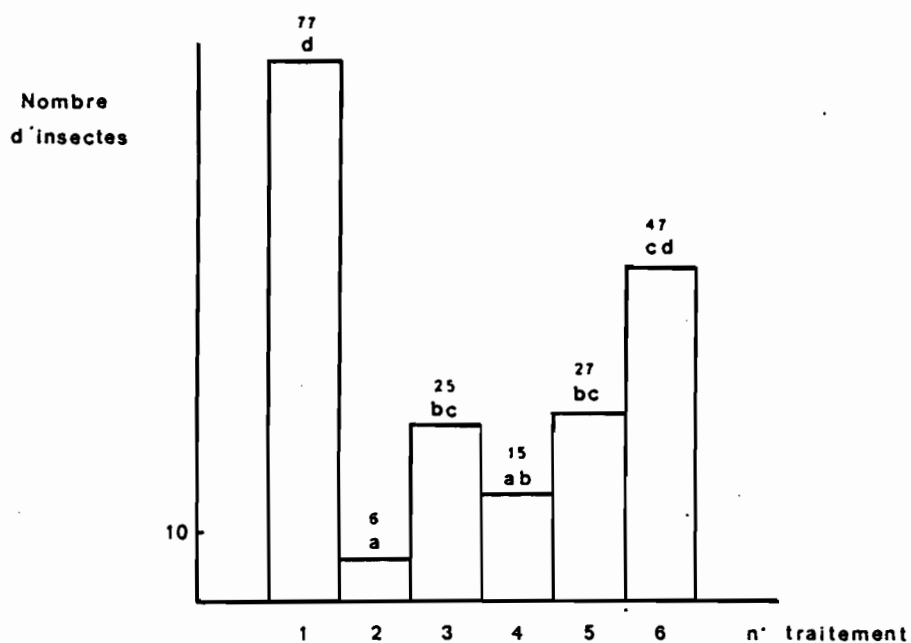


Traitements

- 1 : Témoin non-traité.
- 2 : Fenvalérate 60 g MA/ha tous les 10 jours
- 3 : " " " " à 60 JAL sur CJB et à 100 JAL sur IRAT 81.
- 4 : " " " " à 60 et 75 JAL.
- 5 : " " " " à 60 et 75 JAL puis
Fénitrothion 750 g MA/ha à 90 et 105 JAL.
- 6 : Carbofuran 1250 g MA/ha sur la ligne de semis.

Figure n° 55

TIENIGBOUE 1982 - Total foreurs dans 100 tiges à 80 JAL et rendements -

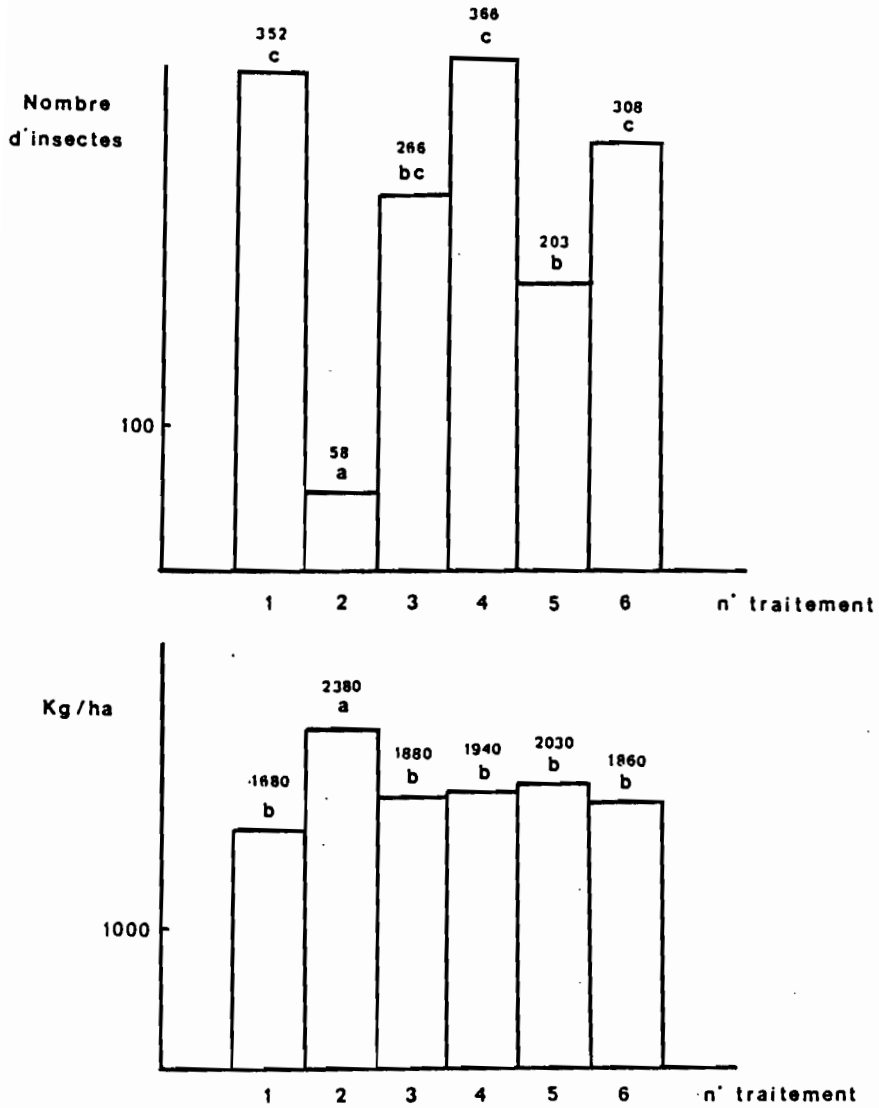


Traitements

- 1 : Témoin non-traité
- 2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha tous les 10 jours .
- 3 : " " " " à 90 JAL .
- 4 : " " " " à 70 et 90 JAL .
- 5 : " " " " à 90 et 105 JAL .
- 6 : Fenvalérate 60 g MA/ha à 60 ,75 ,90 ,105 JAL .

Figure n° 56

GOHITAFLA 1982 - Total foreurs dans 100 tiges à 80 JAL et rendements -

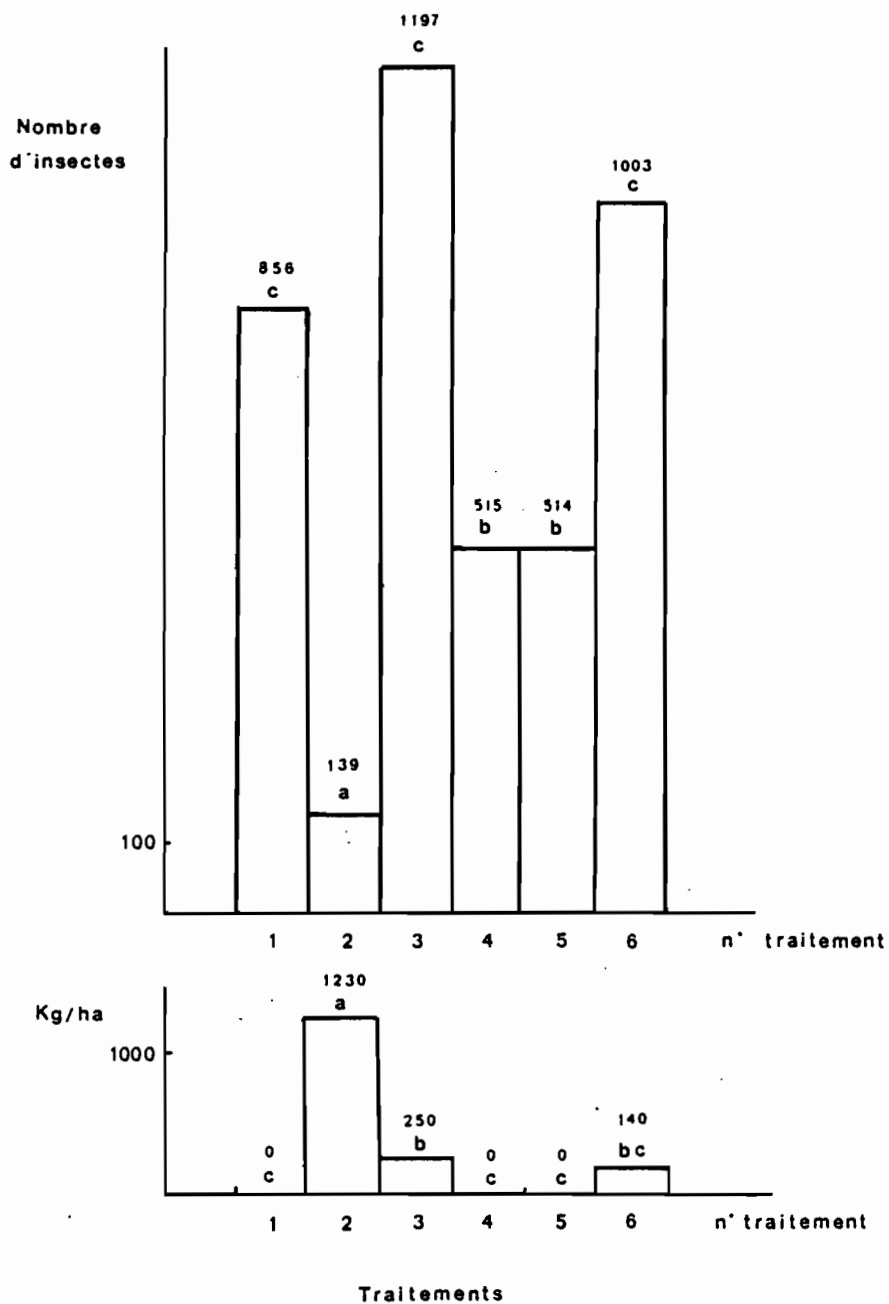


Traitements

- 1 : Témoin non-traité.
- 2 : Fenvalérate 60 g MA/ha tous les 10 jours.
- 3 : " " " " à 60 JAL sur CJB, 90 JAL sur Tuxpeño.
- 4 : Fénitrothion 750 g MA/ha à 60 et 75 JAL.
- 5 : Fenvalérate 60 g MA/ha à 60 , 75 , 90 et 105 JAL.
- 6 : Carbofuran 1250 g MA/ha sur la ligne de semis.

Figure n° 57

DAOUKRO 1982 - Total foreurs dans 100 tiges à 80 JAL et rendements -



- Traitements
- 1 : Témoin non-traité
 - 2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha tous les 10 jours .
 - 3 : Carbofuran 75 g MA/ha à 20 et 40 JAL .
 - 4 : Deltaméthrine 12 g MA/ha à 60 et 75 JAL .
 - 5 : " " 60, 75, 90, 105 JAL .
 - 6 : Carbofuran 1250 g MA/ha sur la ligne de semis .

- A Daoukro enfin, les résultats obtenus au niveau du rendement et au niveau des attaques apparaissent nettement contradictoires. Cette situation traduit en fait une attaque très forte durant toute la durée du cycle, et un relevé au seul 80e jour ne permet pas de relier l'attaque au rendement : c'est d'ailleurs toute la difficulté de la méthode du "point unique" (voir 5ème partie) lors de l'étude de la relation "rendement-attaque".

Les niveaux 4 et 5, qui sont moins attaqués que les niveaux 3 et 6 au 80e JAL, donneront un rendement nul car le traitement sur ces parcelles a eu lieu trop tardivement : l'attaque, très violente en début de cycle, a déjà détruit la plupart des plants au moment du traitement. La protection en début de cycle par le carbofuran dans le sol ou dans le cornet apparait relativement efficace puisque le rendement n'est pas nul, mais, au 80e JAL, ces traitements chimiques n'ont plus aucune action et le nombre d'insectes sur ces parcelles ne se distingue pas du témoin.

On notera l'importance de la localisation de l'insecticide : à une dose de 75g MA/ha dans le cornet, le carbofuran est plus efficace qu'à 1250g MA/ha sur la ligne de semis (peut-être, d'ailleurs, en raison de lessivages par des pluies violentes pour le carbofuran épandu sur le sol ?).

Toutefois le rendement obtenu même avec le traitement dans le cornet reste très inférieur à celui des parcelles protégées tous les 10 jours avec la Deltaméthrine à 12g MA/ha.

2.1.1.3. Essais de 1983

A l'issue des résultats obtenus en 1982 et exposés ci-dessus, certaines conclusions s'imposaient :

- Les attaques en avant-culture paraissaient faibles.
- Une zone à risque majeur semblait exister au niveau des régions centre-sud, sud-est, et, peut-être vers l'ouest jusqu'à Touba. Le nord, par contre, semblait épargné par les attaques de foreurs.

- Dans tous les essais, seul le traitement avec une pyréthrine tous les 10 jours se distinguait du témoin non-traité au niveau du rendement. Les différences que l'on observait au niveau des attaques de foreurs avec les autres niveaux testés

demeuraient insuffisantes pour pouvoir être détectées dans l'analyse du rendement. Ce phénomène pouvait être attribué à priori à deux causes : le traitement avec la Deltaméthrine 12g MA/ha ou le Fenvalérate 60g MA/ha, efficace tous les 10 jours, l'était beaucoup moins tous les 15 jours, et l'on devait donc augmenter la dose lorsque les délais entre les traitements excédaient 10 jours ; d'autre part, au moins à Daoukro, les dates des traitements semblaient avoir été trop tardives : mais cette attaque précoce était-elle un phénomène régulier ou exceptionnel ?

En 1983 nous avons donc augmenté les doses de pyréthrinoides à 15g MA/ha pour la Deltaméthrine et 75g MA/ha pour le Fenvalérate lorsque le délai entre deux traitements était de 2 semaines ; nous avons également réalisé des traitements plus précoces qu'en 1982. Dans la mesure où des zones d'attaque relativement homogènes s'étaient dessinées, nous avons opté pour un dispositif expérimental plus multilocal au sein de ces zones homogènes : nous avons augmenté le nombre de niveaux en chaque lieu, et, de ce fait, réduit le nombre de répétitions, mais les mêmes traitements étaient effectués sur divers points d'observation d'une zone d'attaque homogène, et l'analyse devait être multilocale. Malheureusement, cette méthode s'est avérée mauvaise en 1983 car seul un essai dans la zone attaquée a pu résister à la sécheresse (Gohitafla). En outre, les essais de certaines localités comme Touba, qui semblaient se situer dans une zone à risque en 1982, sont apparus très peu attaqués en 1983. Un autre essai en zone attaquée a pu aboutir grâce à une irrigation d'appoint (Bouaké), mais c'était un essai effectué sur la station de la société Roussel-Uclaf à Bouaké, et les traitements retenus différaient légèrement de ceux destinés à l'analyse multilocale.

Les tableaux n° 22 et n° 23 ainsi que les figures n° 58 et n° 59 précisent les résultats obtenus en 1983. Seuls deux essais donnent des différences significatives en rendement et ont été retenus au niveau des graphiques. Deux autres essais donnent des valeurs de F significatives pour les attaques d'insectes mais ont été écartés en raison d'un coefficient de variation très fort lié aux faibles populations rencontrées.

Les dissections de tiges ont été réalisées tous les 10 jours à partir du 50e JAL afin de détecter les attaques précoces. Toutefois seul le résultat du 80e JAL est présenté sur les figures. Certains traitements, apparus peu efficaces en 1982 ont été éliminés : Carbofuran dans le sol, Fénitrothion.

Tableau n°22

Résultats des analyses de variance concernant le nombre d'insectes présents au 80e jour
après levée dans les essais effectués en 1983 en cycle unique ou deuxième cycle

Localisation	Traitements insecticides		Variété		Interaction Variété-Traitement	Nombre d'insectes par tige sur témoin non-traité
	F*	CV*en %	F*	CV*en %		
Tingrela	-	-	-	-	-	0
Boundiali	-	-	-	-	-	0
Dianra	1,01 (NS)	144,2	-	-	-	0,05
Touba	3,14 (S)	134,0	0,205 (NS)	248,6	0,34 (NS)	0,2
Niakara	12,1 (HS)	95,8	-	-	-	0,3
Bouaké (irrigué)	7,47 (HS)	42,7	-	-	-	1,9
Gohitafla	16,07 (HS)	27,9	3,45 (NS)	24,4	1,40 (NS)	2,7

* F = Rapport de la variance facteur sur la variance résiduelle

* CV = Coefficient de variation : rapport de l'écart-type résiduel sur la moyenne.

Tableau n° 23

Résultats des analyses de variance concernant le rendement des essais effectués en 1983
en cycle unique ou deuxième cycle.

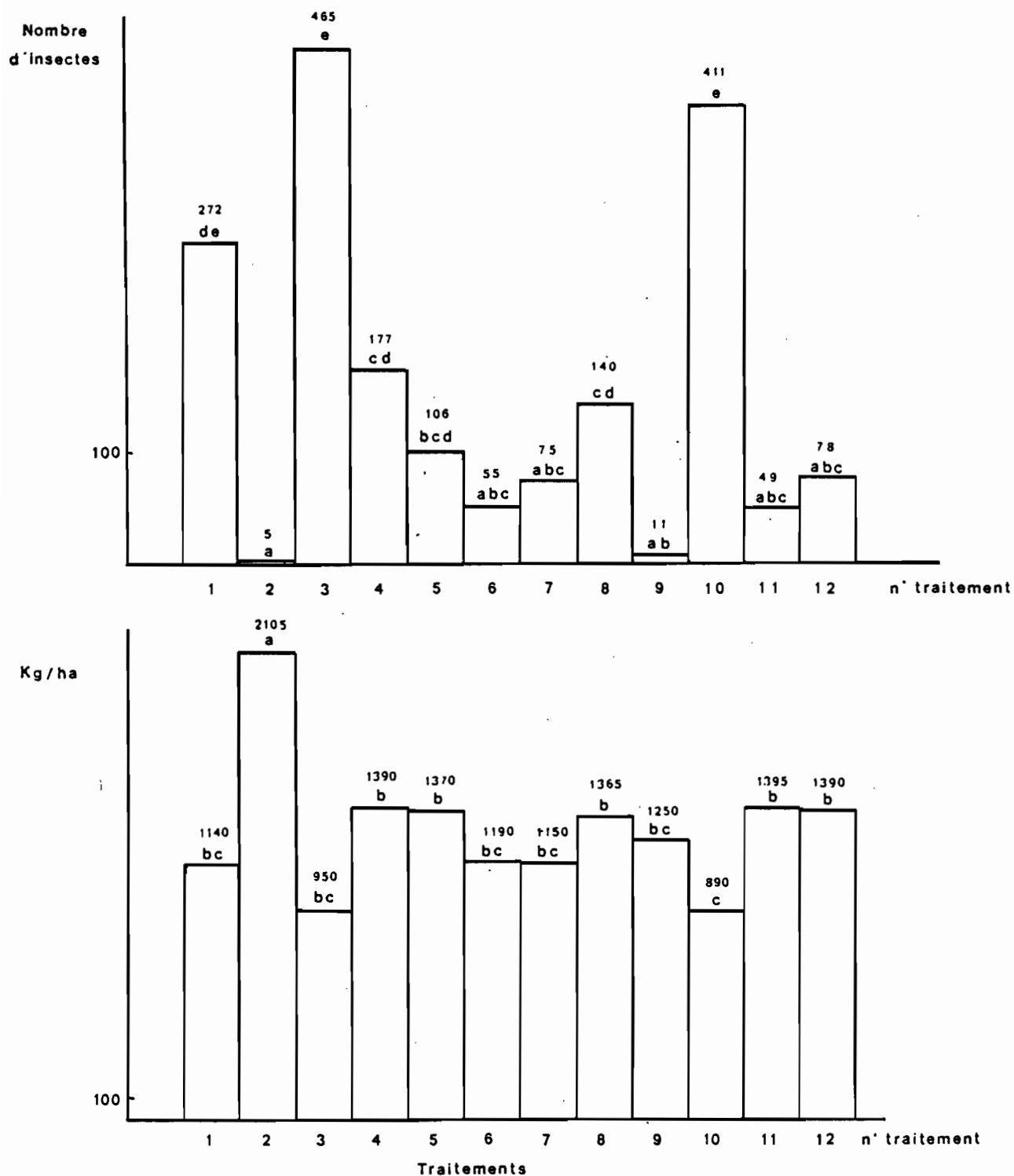
Localisation	Traitement insecticide		Variétés		Interaction Traitement-variété F *
	F *	CV* en %	F *	CV* en %	
Tingrela	0,91 (NS)	14,4	-	-	-
Boundiali	0,39 (NS)	17,3	-	-	-
Dianra	0,29 (NS)	17,2	-	-	-
Touba	0,68 (NS)	15,4	0,09 (NS)	16,1	1,55 (NS)
Niakara	0,69 (NS)	26,0	-	-	-
Bouaké (irrigué)	4,41 (HS)	18,4	-	-	-
Gohitafla	5,09 (HS)	21,0	2,2 (NS)	12,5	1,41 (NS)

* F = Rapport de la variance facteur sur la variance résiduelle

* CV = Coefficient de variation : rapport de l'écart-type résiduel sur la moyenne.

Figure n° 58

GOHITAFLA 1983 - Total foreurs dans 100 tiges à 80 JAL et rendements -



1 : Témoin non-traité.

2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha tous les 10 jours.

3 : Carbofuran 75 g MA/ha à 20 et 40 JAL.

4 : " 150 g MA/ha à 40 JAL.

5 : Bacillus thuringiensis 1 kg PC/ha à 50,65,80,95 JAL.

6 : Phoxime 500g MA/ha à 40 JAL.

7 : Thiocyclam 250 g MA/ha à 50,65,80,95 JAL.

8 : Cyperméthrine 3 g MA/ha à 40 JAL.

9 : Deltaméthrine 15 g MA/ha à 60,70 JAL.

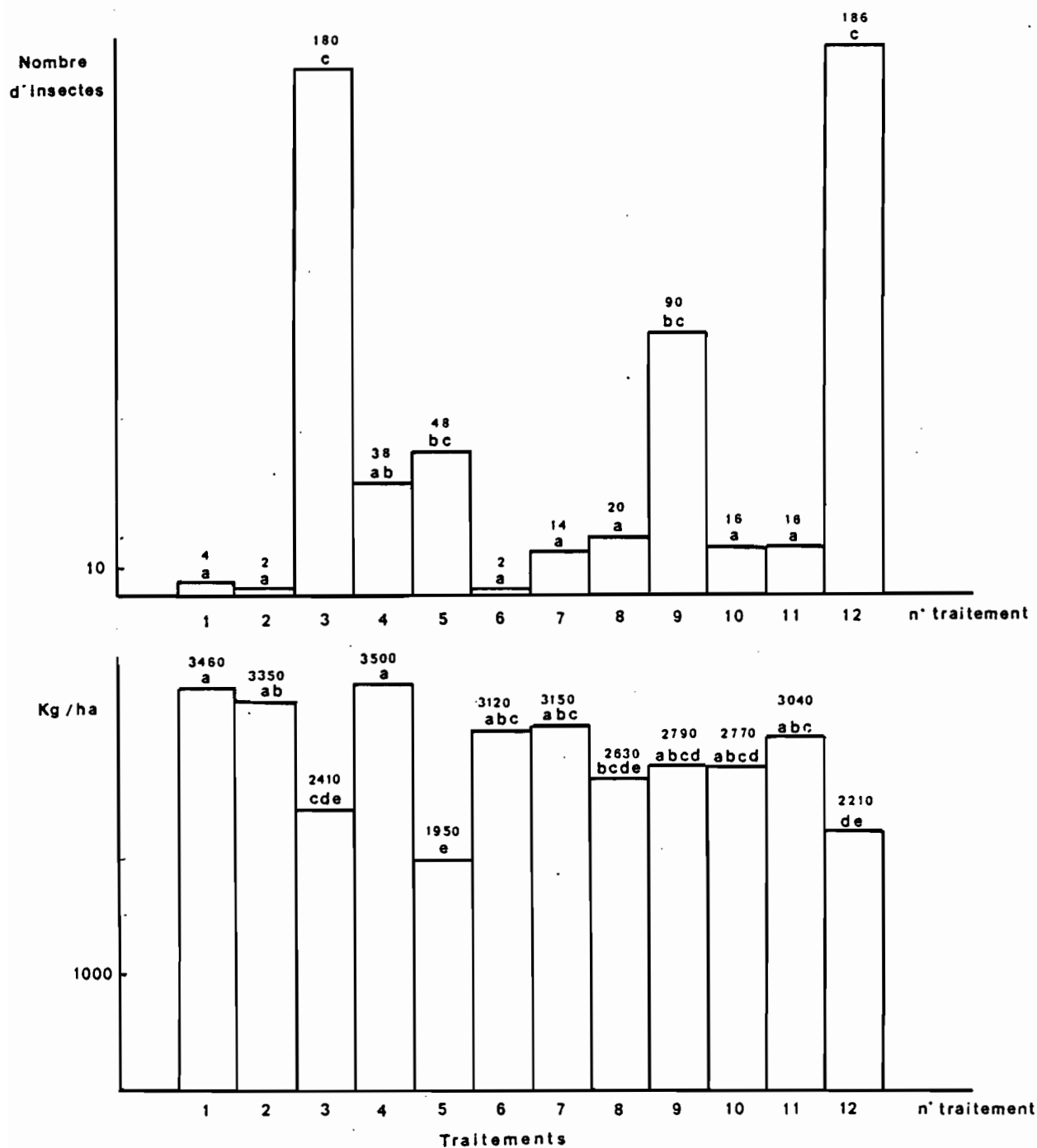
10 : " 15 g MA/ha à 80,95 JAL.

11 : " 15 g MA/ha à 50,65,80,95 JAL.

12 : " 18 g MA/ha à 60 JAL.

Figure n° 59

BOUAKE 1983 - Total foreurs dans 100 tiges à 80 JAL et rendements -



1 : Deltaméthrine 12 g MA/ha chaque semaine.

2 : " 15 g MA/ha à 60 et 75 JAL.

3 : " 12 g MA/ha à "

4 : " 15 g MA/ha à 80 et 95 JAL.

5 : " 12 g MA/ha à "

6 : " 15 g MA/ha à 50,65,80 et 95 JAL.

7 : Deltaméthrine 12g MA/ha à 50,65,80 et 95 JAL.

8 : " 18g MA/ha à 60 JAL.

9 : Carbofuran à 20 et 40 JAL, 75g MA/ha.

10 : Bacillus thuringiensis 1 kg PC/ha tous les 10 jours.

11 : Fenvalérate 75g MA/ha tous les 15 jours.

12 : Témoin non-traité.

On peut observer sur le graphique n° 59 qu'à Bouaké le Carbofuran dans le cornet contrôle mal les attaques, sans qu'il soit toutefois possible d'en conclure à une inefficacité du traitement car l'attaque a débuté tardivement. D'autres traitements (4 et 5) donnent également de mauvais résultats puisqu'ils n'avaient pas débuté au moment du relevé.

Les meilleurs objets et les plus mauvais apparus pour les attaques gardent leur classement au niveau du rendement. Par contre, pour les traitements intermédiaires, certaines contradictions surgissent : un bon contrôle du parasitisme se traduit par un rendement non différent du témoin non-traité (objet 8, 10, 11). Y a-t'il là un effet de l'échantillonnage ? Ce phénomène, quoiqu'il en soit, met en lumière la nécessité de toujours confirmer les résultats obtenus. Cet essai permet de constater le bon comportement de la Deltaméthrine à la dose de 15g MA/ha pour toutes les dates de traitement retenues.

A Gohitafla, le carbofuran à 20 et 40 JAL ne donne pas de bons résultats, alors qu'à dose double, à 40 JAL, il est légèrement meilleur. Les contrôles de foreurs sont corrects avec de nombreux produits, mais seul, encore une fois, le traitement systématique tous les 10 jours avec la Deltaméthrine à 12g MA/ha produit un rendement supérieur au témoin non-traité. Dans ce cas, le faible nombre de répétitions (4) est à incriminer d'une part, et d'autre part le fait que les attaques ont débuté très tôt car, dès les relevés du 50^e JAL, on trouve plus de 2 foreurs par tige dans le témoin, parmi lesquels près de la moitié de larves âgées. Des contrôles plus précoces sembleraient donc appropriés ainsi que plus de répétitions afin de mettre en évidence des différences nettes au niveau du rendement. On notera toutefois que la Deltaméthrine à 15g MA/ha se révèle très efficace pour contrôler des attaques ayant débuté avant le premier traitement (niveau 9 et 11).

Parmi les nouveaux insecticides introduits, la conclusion est délicate : le *Bacillus thuringiensis*, le Phoxime et le Thiocyclam ne semblent pas se distinguer de la Deltaméthrine (niveau 11) dans les mêmes conditions d'emploi. Une confirmation est toutefois nécessaire. La très faible dose testée pour la Cyperméthrine en granulés provient d'une erreur du fournisseur qui nous avait indiqué une teneur en matière active 10 fois supérieure à la teneur effective.

2.1.1.4. Essais de 1984
.....

Malgré une année 1983 peu riche en résultats, certains faits saillants pouvaient être dégagés :

- Les attaques, du moins à Gohitafla, étaient encore beaucoup plus précoces que nous ne l'imaginions. A Daoukro, l'essai, détruit par la sécheresse, avait permis toutefois de constater des attaques également en tout début de cycle, ce qui confirmait la situation de 1982. La nécessité de traiter très tôt dans le cycle s'imposait donc clairement.

- La dose de 15g MA/ha de Deltaméthrine apparaissait efficace. Le problème économique se posait alors, qui devait être pris en compte pour la réalisation des essais de 1984 : nous avons estimé, arbitrairement, qu'un paysan ne pouvait guère réaliser plus de deux traitements insecticides sur le maïs en cours de culture. Nous avons donc axé notre étude en 1984 sur le problème suivant: Deux traitements permettent-ils une augmentation substantielle de la récolte ? Le produit à privilégier était la Deltaméthrine apparue efficace contre les foreurs, à comparer avec d'autres insecticides à confirmer ou nouveaux.

Nous avons fixé les dates de traitement de début de cycle au 20^e et 40^e JAL : c'est-à-dire que le premier traitement se situe très tôt après le démariage. Nous avons conservé, à Gohitafla, un niveau de traitements tardifs afin de mettre en évidence l'intérêt respectif de traitements de fin et de début de cycle. Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment (paragraphe 2-5), le suivi parasitaire en 1984 a débuté au 20^e JAL et s'est poursuivi durant tout le cycle au rythme d'un relevé tous les 20 jours. Nous avons réadopté en 1984 un dispositif spécifique pour chaque point d'observation avec 6 traitements et 8 répétitions afin d'éviter les problèmes apparus en 1983.

Pour cette dernière année d'étude, nous avons détaillé sur les graphiques non seulement le nombre d'insectes, mais les dégâts : nombre de trous visibles extérieurement sur la tige une fois les feuilles ôtées, et pourcentage d'entre-noeuds attaqués. Tous les résultats obtenus sont reproduits sur les tableaux n° 24 et n° 25 ainsi que sur les figures n° 60 à 81.

Tableau n° 24

Résultats des analyses de variance concernant les nombres d'insectes aux divers relevés effectués en 1984 en cycle unique

Localisation et date	Traitements insecticides		Variétés		Interaction traitement-variété	Nombre d'insectes par tige sur le témoin non-traité
	F *	CV en %	F *	CV en %		
BEQUMI 20 JAL	2,06 (NS)	269,7	-	-	-	0,15
40 JAL	11,88 (HS)	145,8	-	-	-	1,35
60 JAL	19,29 (HS)	44,6	-	-	-	3,72
80 JAL	27,0 (HS)	37,8	-	-	-	7,78
100 JAL	1,26 (NS)	57,7	-	-	-	3,03
GOHITAFLA 20 JAL	1,00 (NS)	157,8	0,27 (NS)	79,6	1,37 (NS)	0,85
40 JAL	5,59 (HS)	140,3	49,0 (HS)	28,9	1,51 (NS)	0,60
60 JAL	12,00 (HS)	65,3	0,90 (NS)	75,6	0,73 (NS)	1,90
80 JAL	7,55 (HS)	37,3	0,50 (NS)	46,3	0,50 (NS)	5,02
100 JAL	7,63 (HS)	47,2	0,8 (NS)	53,8	0,56 (NS)	3,65
DAOUKRO 20 JAL	1,17 (NS)	56,9	0,06 (NS)	64,3	1,15 (NS)	2,43
40 JAL	13,06 (HS)	31,1	0,28 (NS)	38,4	1,13 (NS)	10,55
60 JAL	55,37 (HS)	19,3	0,61 (NS)	6,8	0,53 (NS)	7,80
80 JAL	22,46 (HS)	27,3	0,15 (NS)	19,8	0,89 (NS)	8,80
100 JAL	12,34 (HS)	26,5	0,21 (NS)	21,5	0,88 (NS)	3,32

* F = Rapport de la variance facteur sur la variance résiduelle

* CV = Coefficient de variation : rapport de l'écart-type résiduel sur la moyenne.

Tableau n°25

Résultats des analyses de variance concernant le rendement des essais effectués
en 1984 en cycle unique

Localisation	Traitements insecticides		Variétés		Interaction traitement-variété
	F*	CV* en %	F*	CV* en %	
Béoumi	23,27 (HS)	19,6	-	-	-
Gohitafla	29,31 (HS)	13,1	6,40 (NS)	41,8	1,46 (NS)
Daoukro	28,79 (HS)	56,1	0,20 (NS)	87,5	0,34 (NS)

* F = Rapport de la variance facteur sur la variance résiduelle

* CV = Coefficient de variation : rapport de l'écart-type résiduel sur la moyenne.

Figure n° 60

DAOUKRO 1984 - Total foreurs dans 100 tiges -

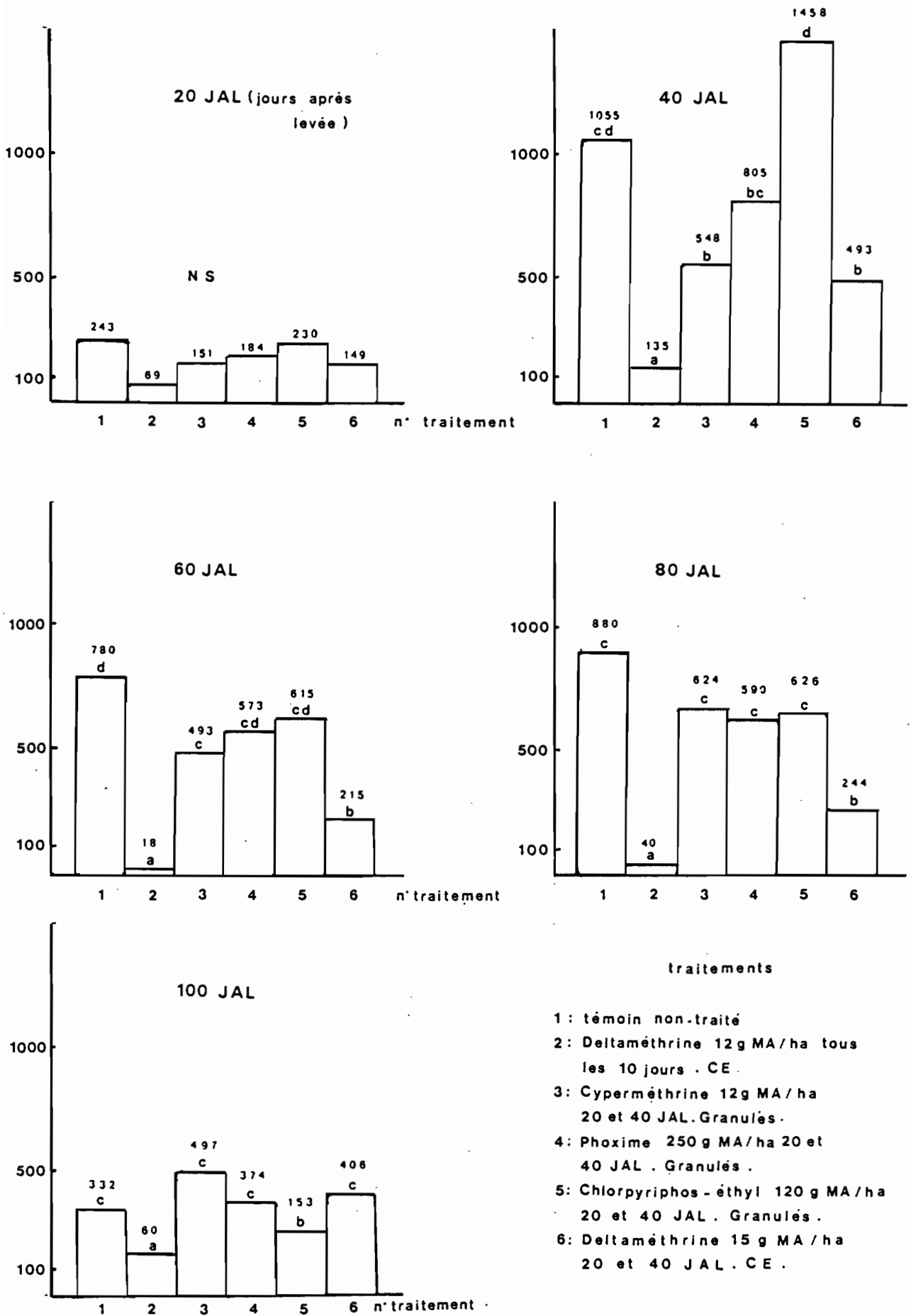


Figure n°61

DAOUKRO 1984 - Evolution du nombre de foreurs dans 100 tiges -

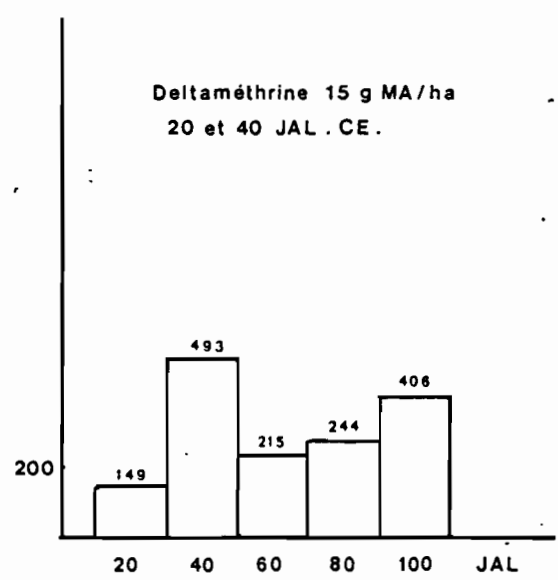
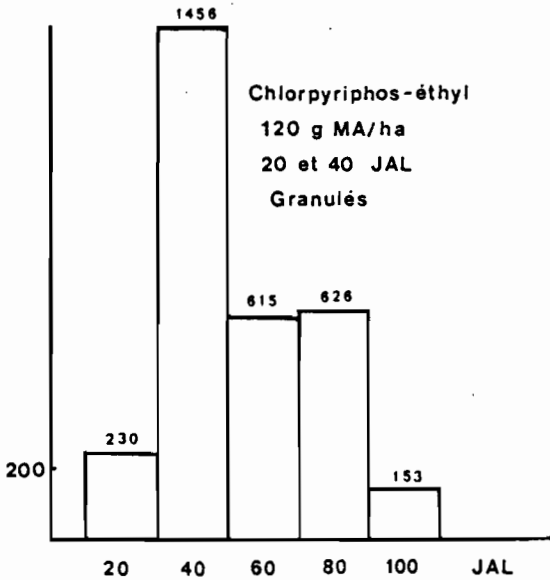
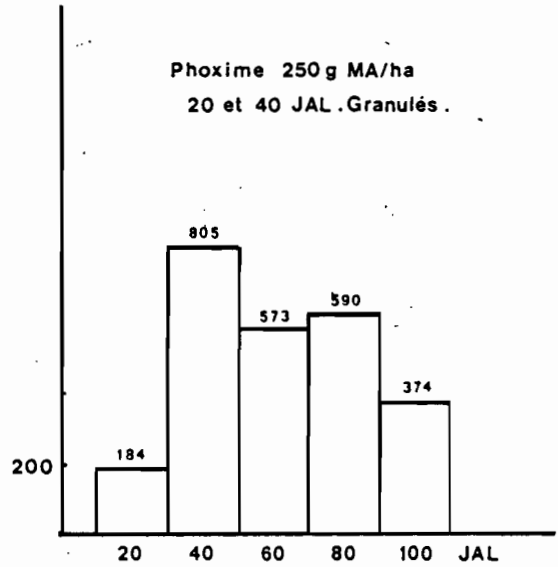
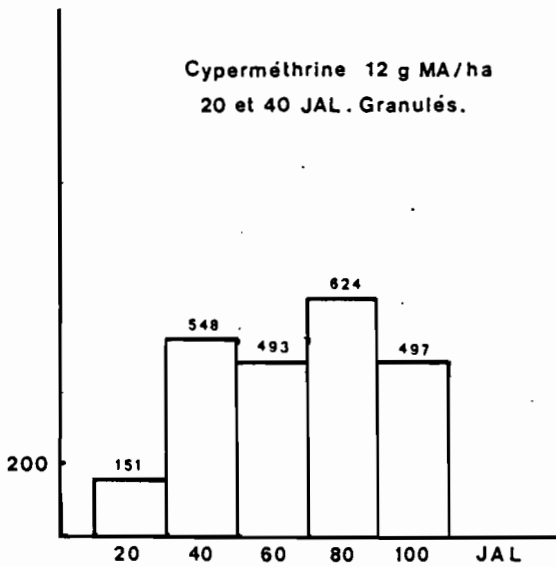
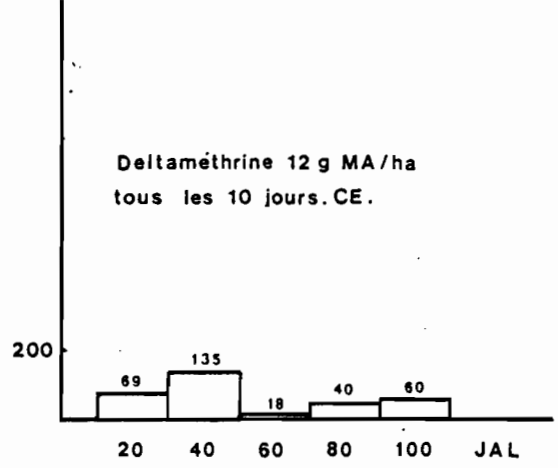
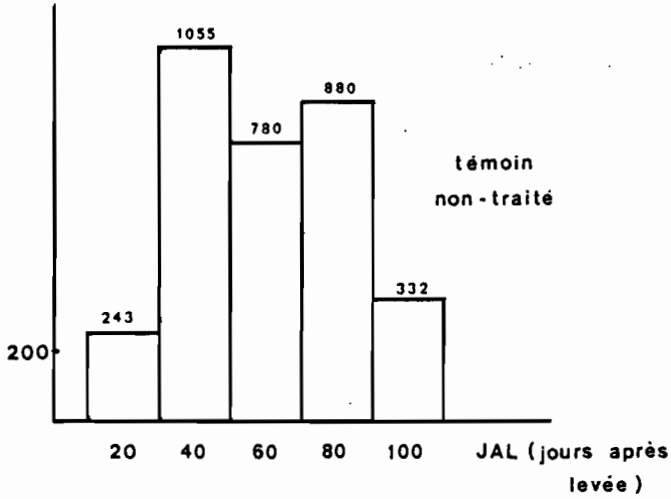
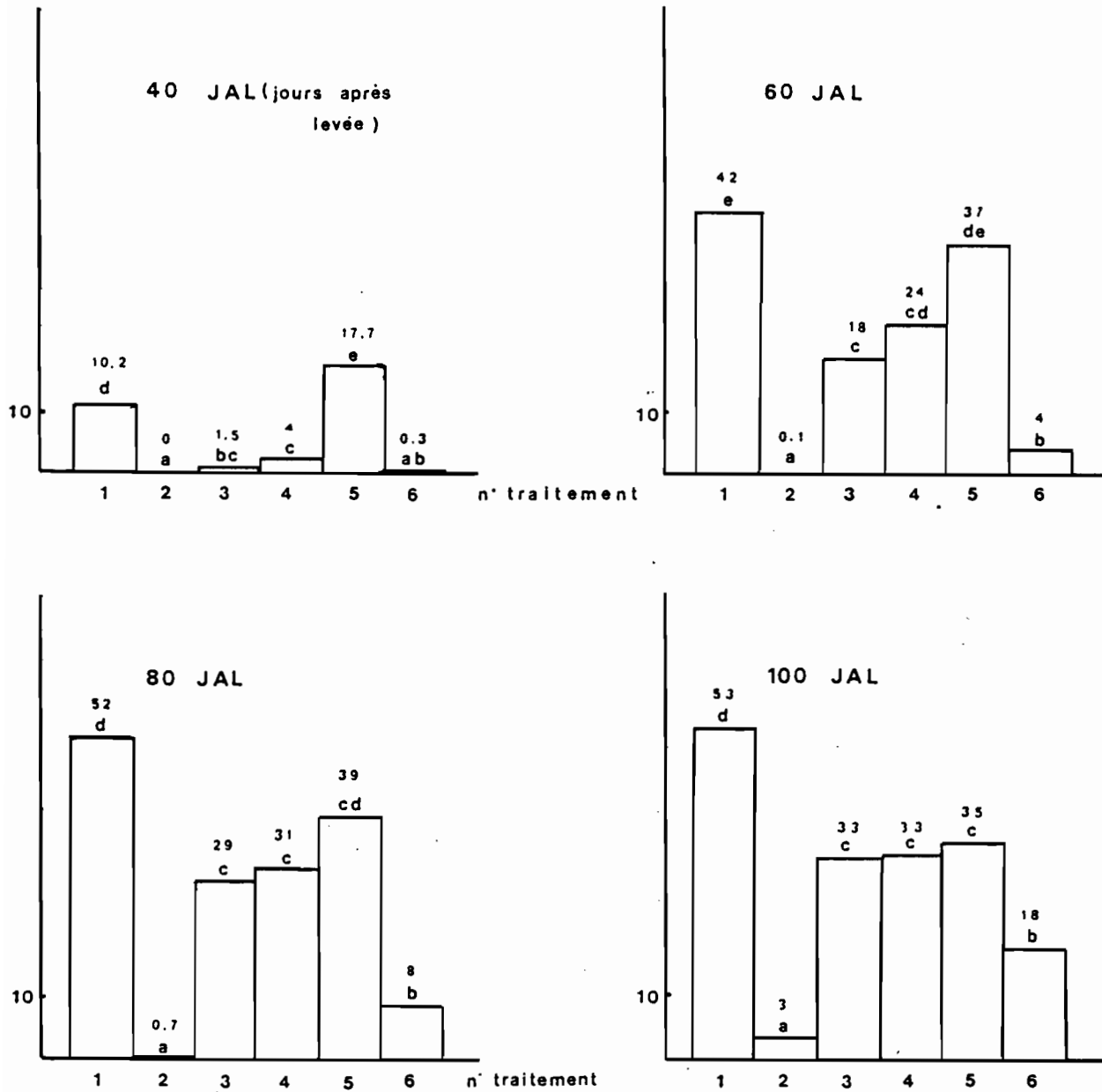


Figure n° 62

DAOUKRO 1984 - Nombre de trous visibles par tige -



traitements

- 1 : témoin non-traité
- 2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha
tous les 10 jours. CE.
- 3 : Cyperméthrine 12 g MA/ha
20 et 40 JAL. Granulés.
- 4 : Phoxime 250 g MA/ha
20 et 40 JAL. Granulés.
- 5 : Chlorpyriphos-éthyl 120 g MA/ha
20 et 40 JAL. Granulés.
- 6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
20 et 40 JAL. CE.

Figure n°63

DAOUKRO 1984 - Nombre de trous visibles : Evolution par traitement -

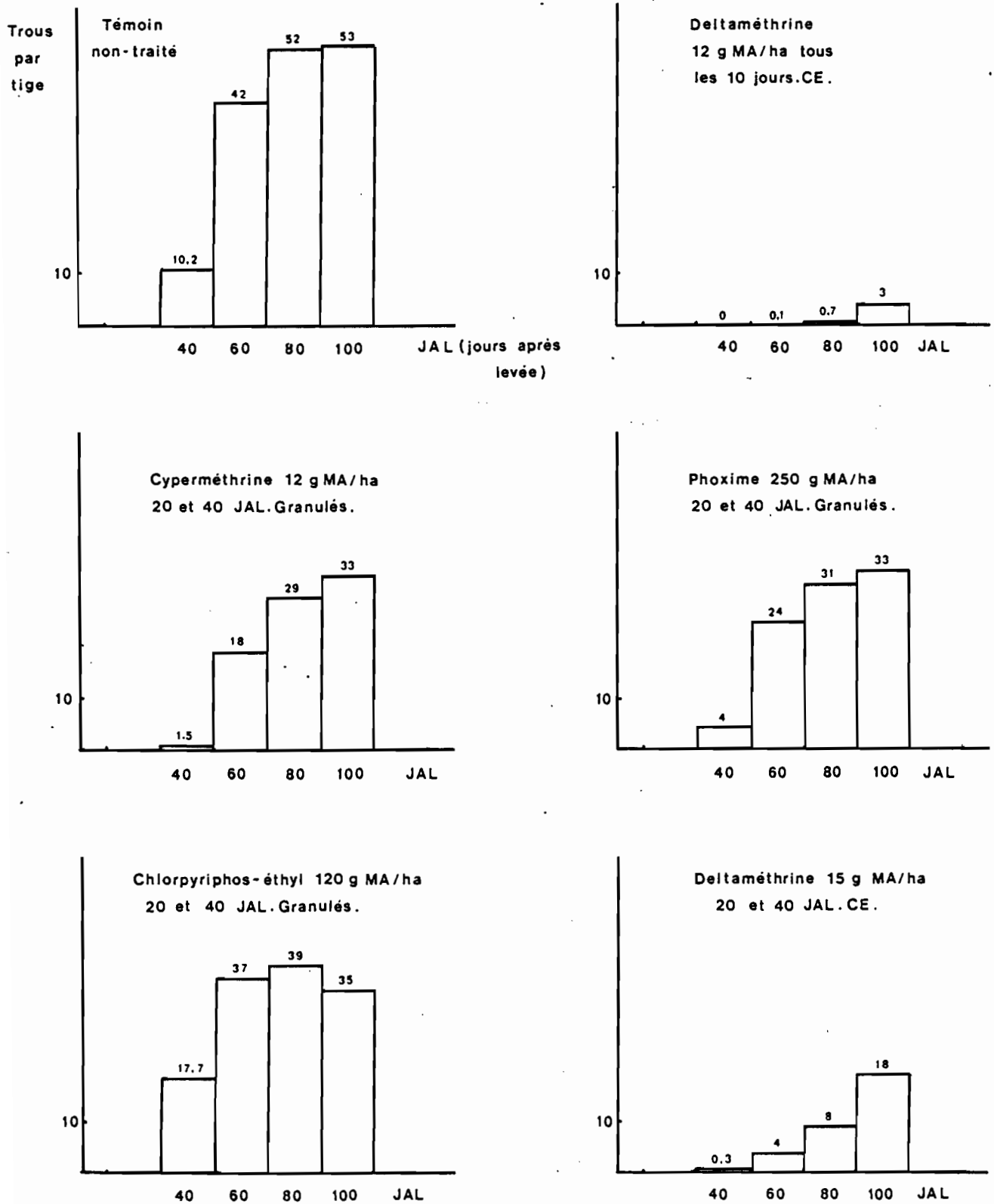


Figure n°64

DAOUKRO 1984 - Pourcentage d'entre-nœuds atteints -

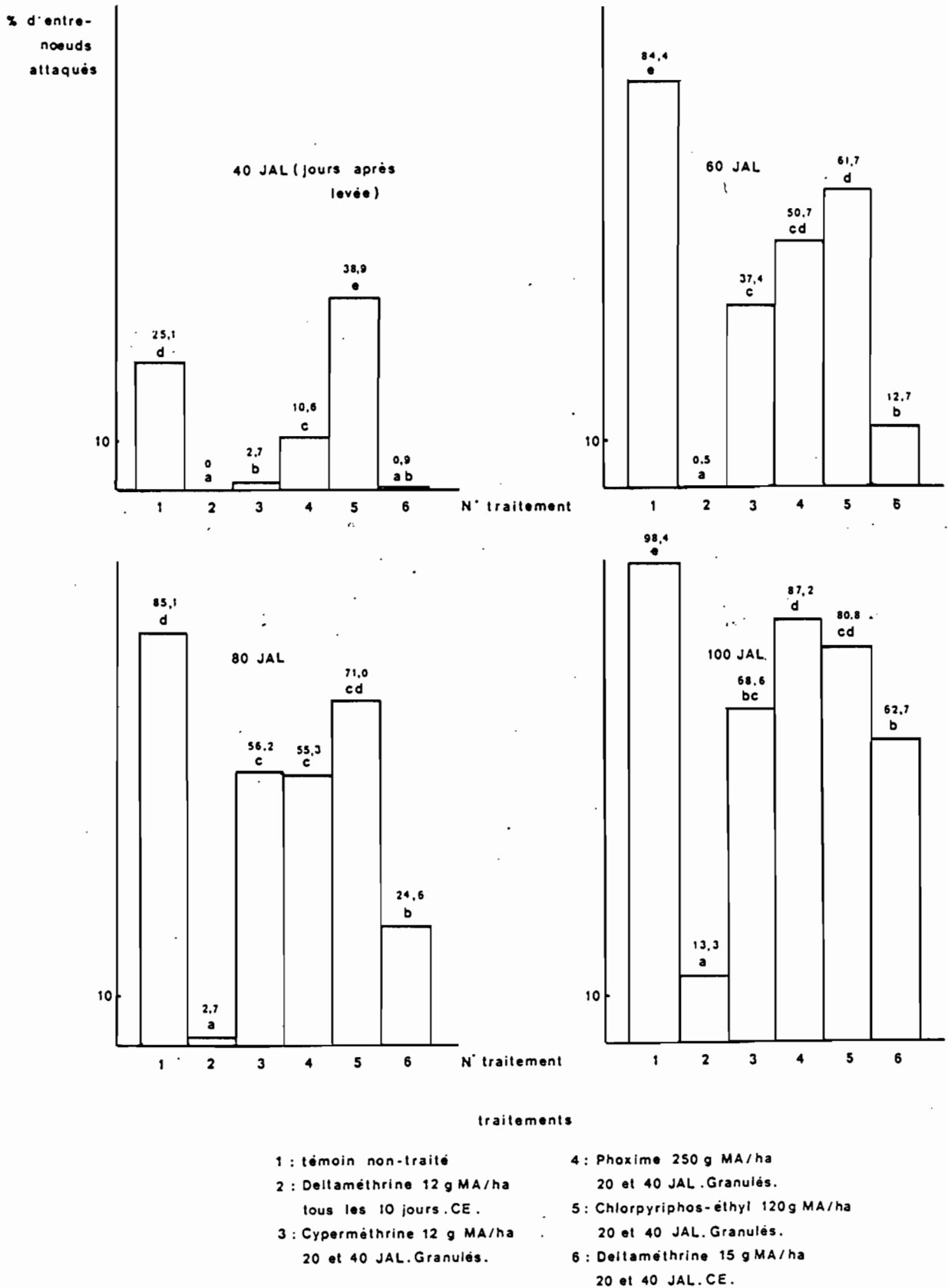


Figure n° 65

DAOUKRO 1984 - Evolution du pourcentage d'entre-nœuds attaqués -

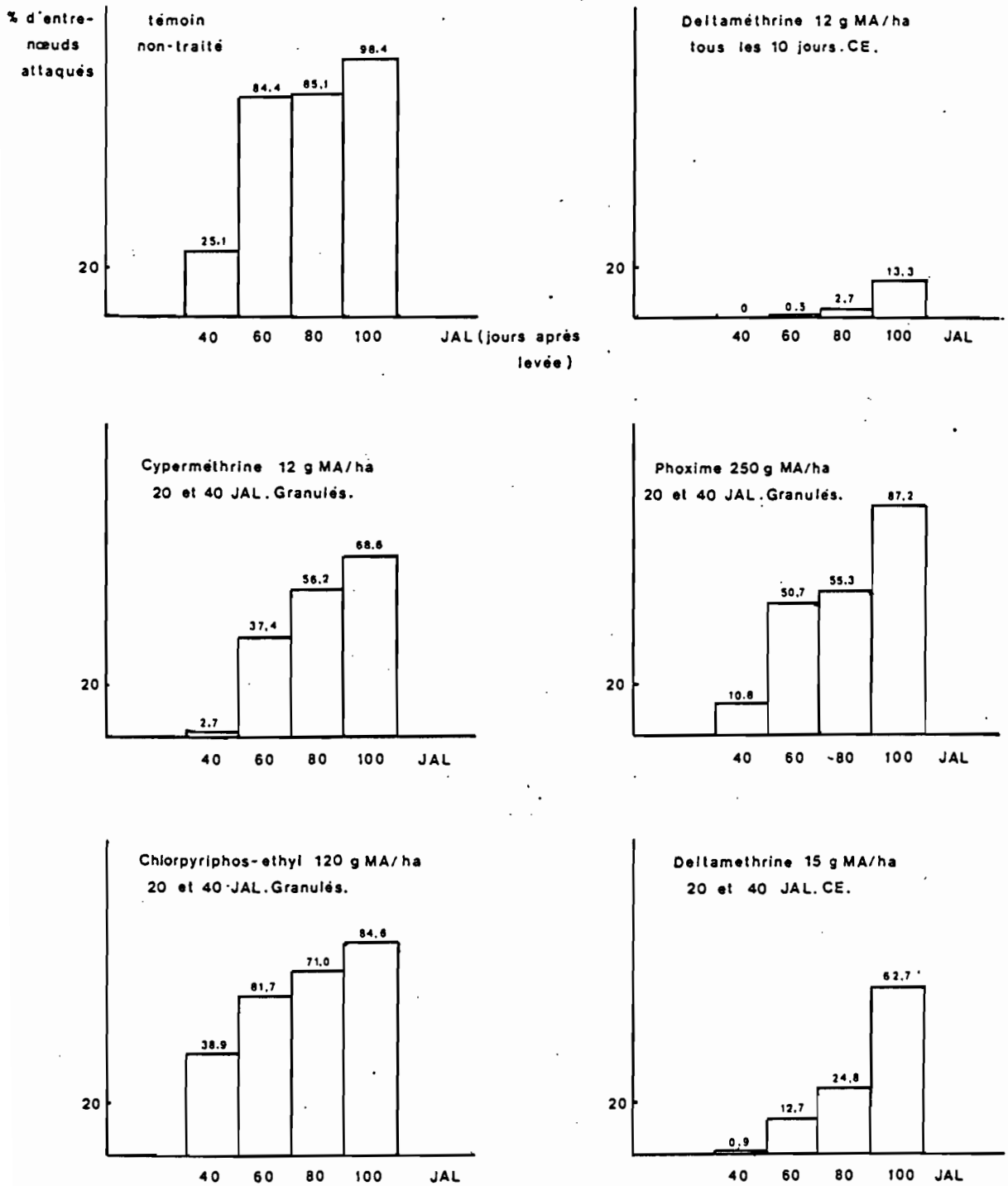
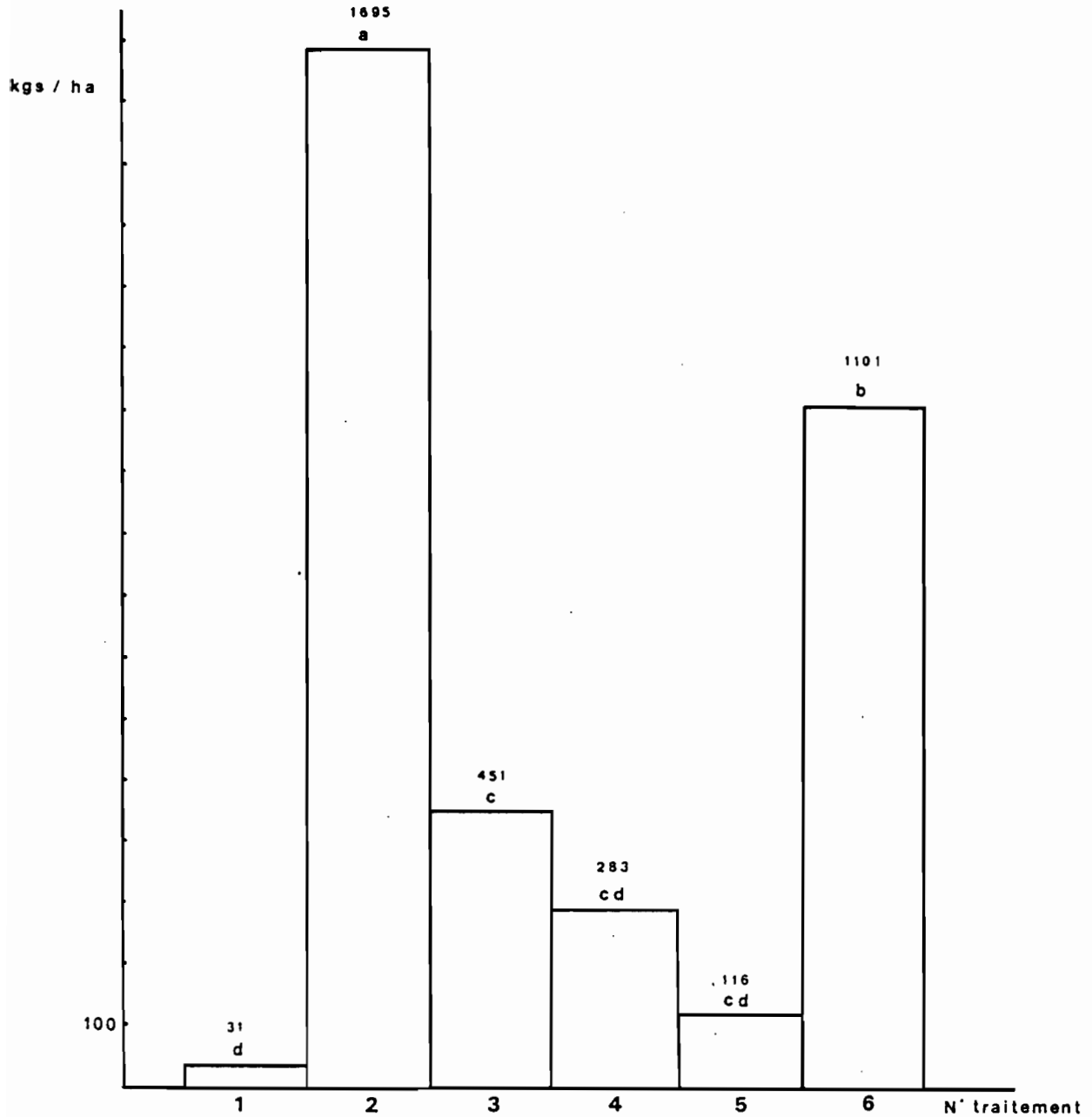


Figure n°66

DAOUKRO 1984 - Rendement en grains -



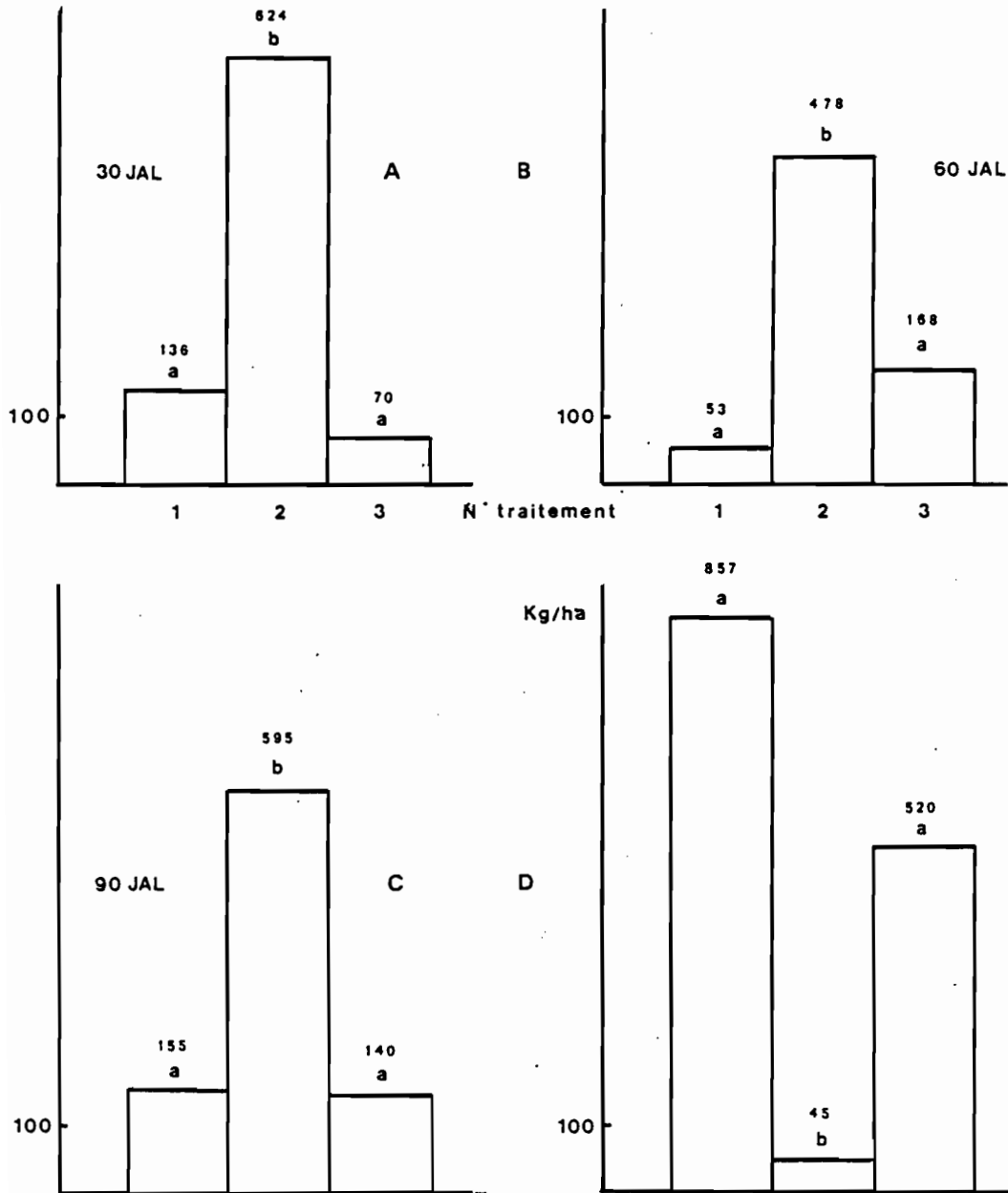
traitements

1 : témoin non-traité

2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha
tous les 10 jours .CE.3 : Cyperméthrine 12 g MA/ha
20 et 40 JAL .Granulés.4 : Phoxime 250 g MA/ha
20 et 40 JAL .Granulés.5 : Chlorpyriphos-éthyl 120 g MA/ha
20 et 40 JAL .Granulés.6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
20 et 40 JAL .CE.

Figure n° 67

DAOUKRO 1984 - Total foreurs dans 100 tiges (A,B,C) et rendements(D) -



Traitements

- 1 : Endosulfan 1250 g MA/ha à 20 et 40 JAL. Granulés .
- 2 : Bacillus thuringiensis 1 kg PC/ha tous les 15 jours .
- 3 : Deltaméthrine 15 g MA/ha tous les 15 jours .

Figure n°68

GOHITAFLA 1984 - Total foreurs dans 100 tiges -

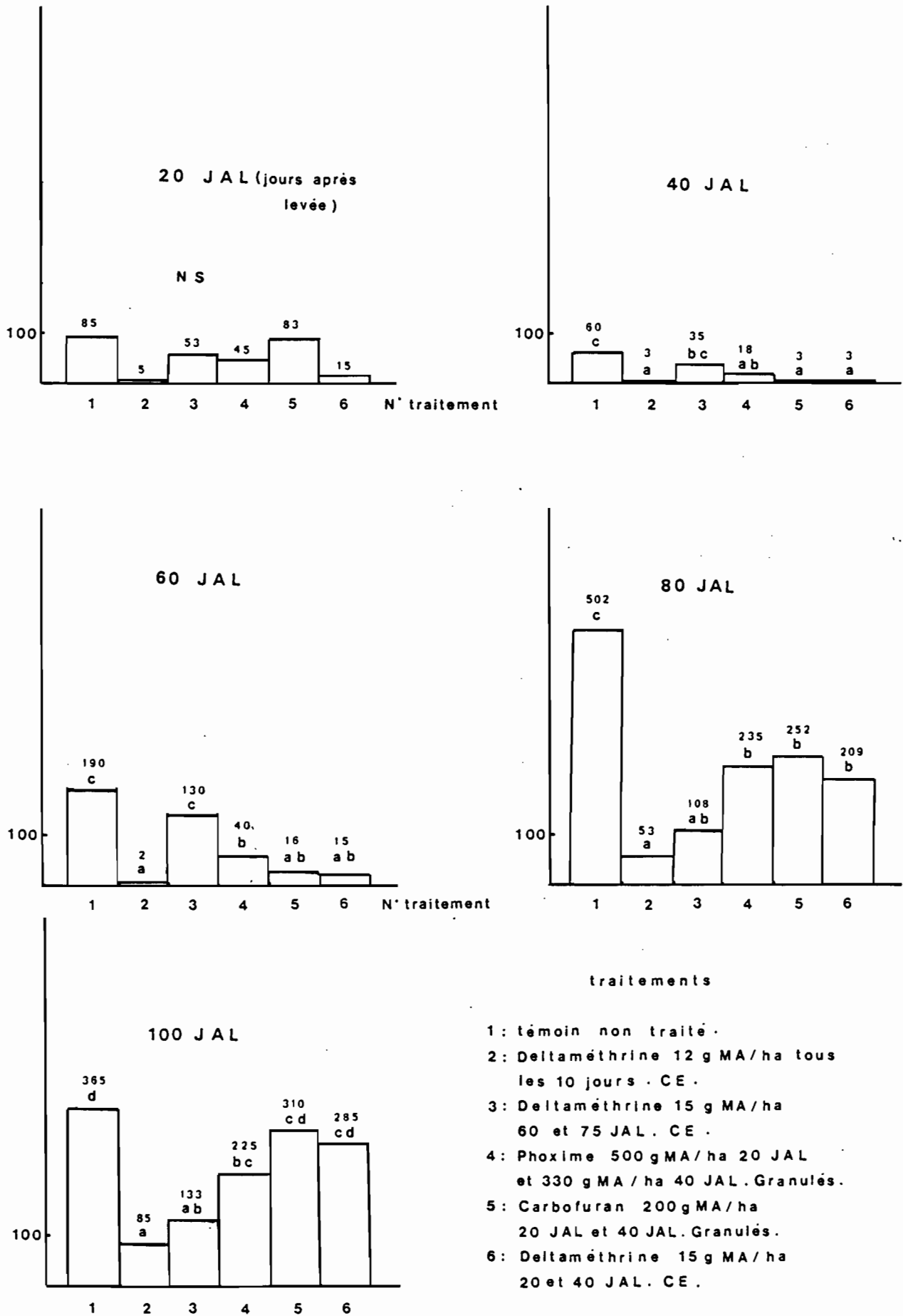


Figure n°69

GOHITAFLA 1984 - Total foreurs dans 100 tiges : Evolution par traitement -

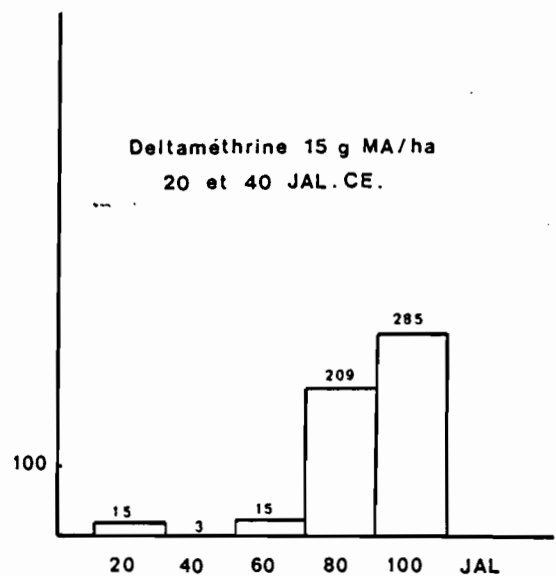
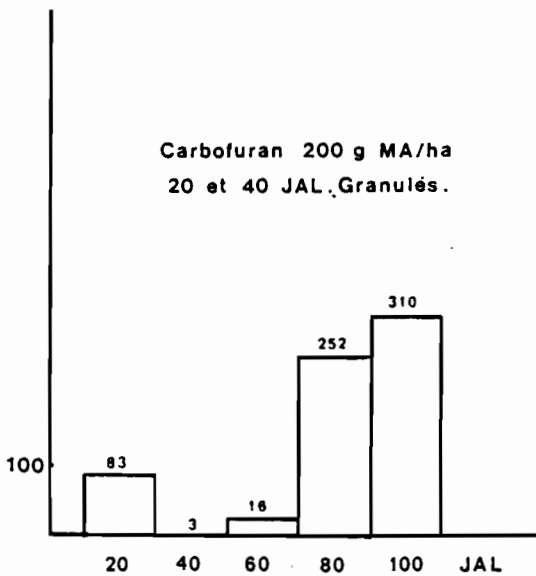
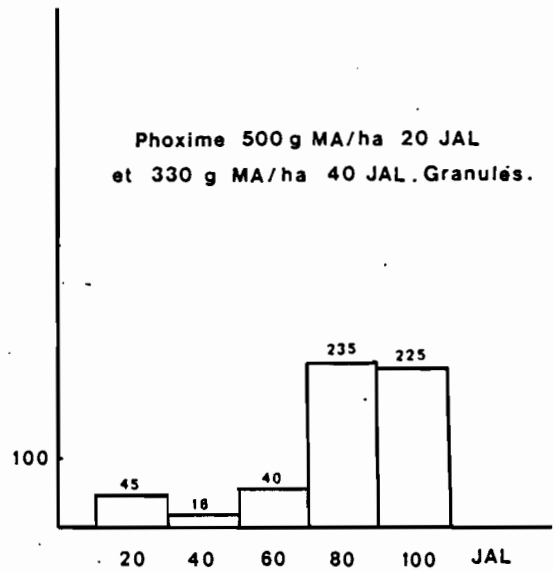
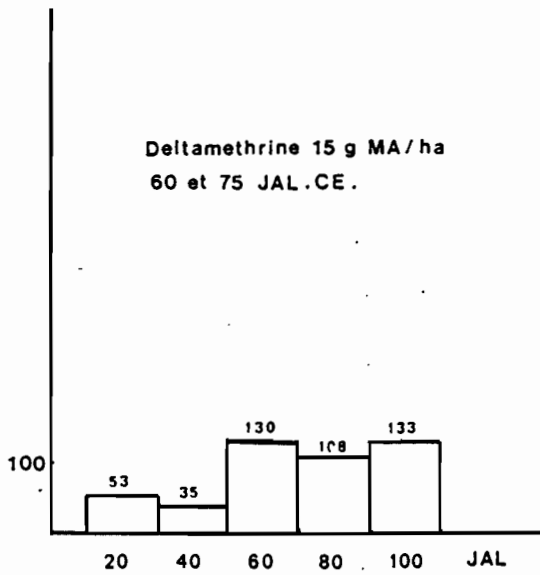
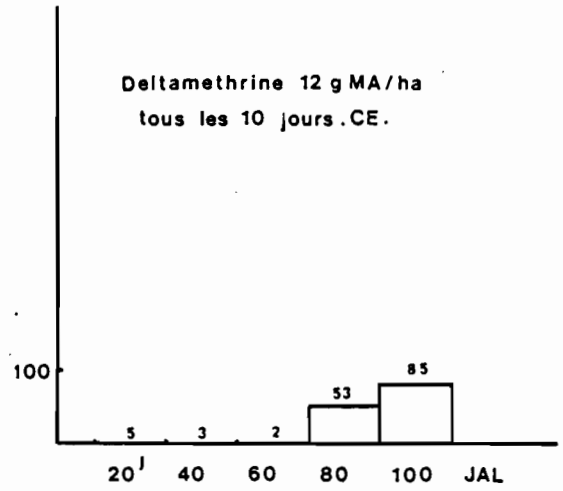
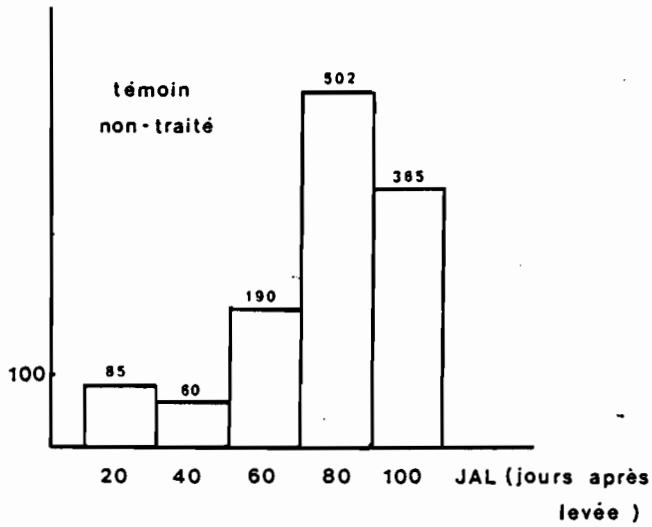
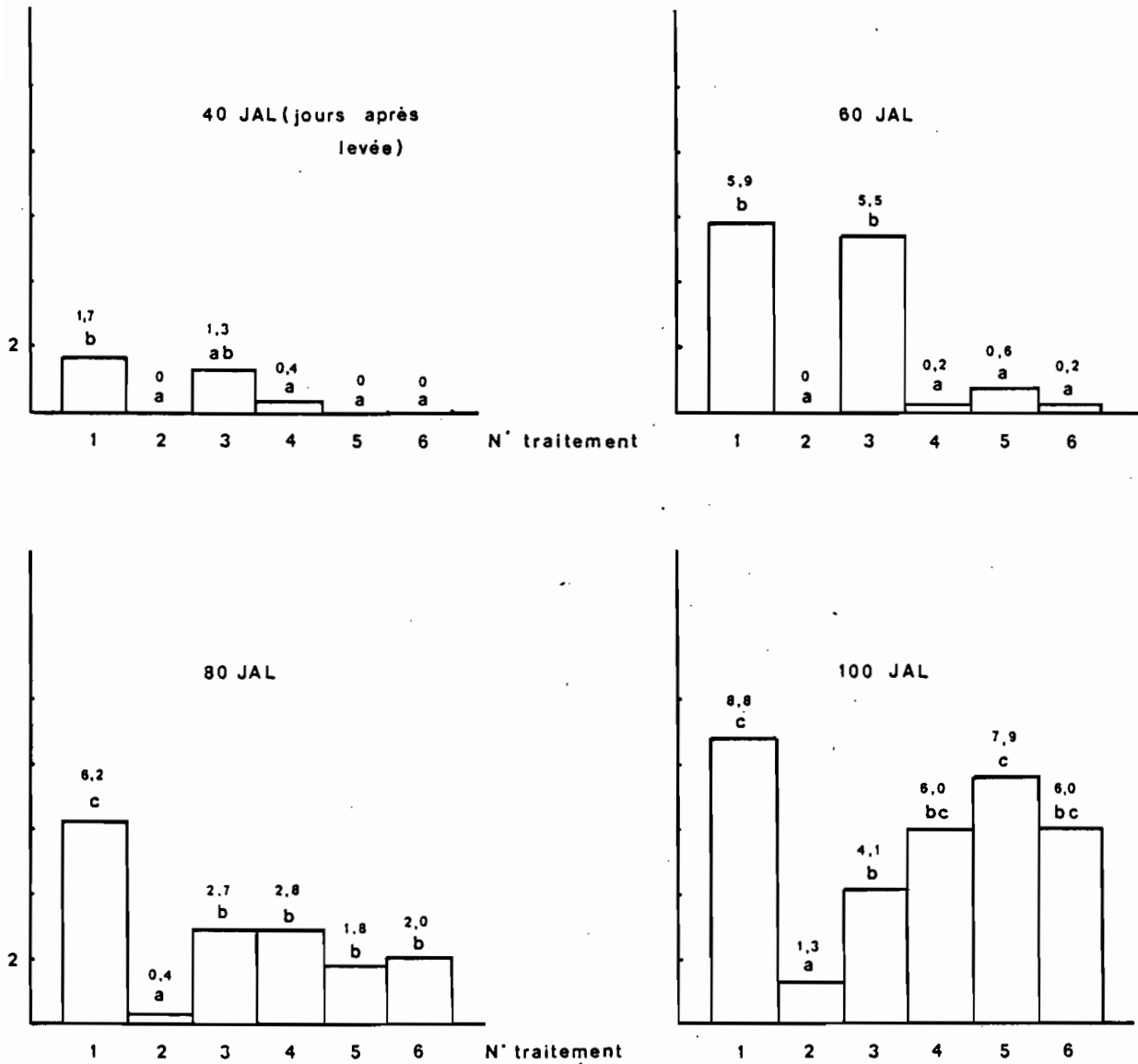


Figure n° 70

GOHITAFLA 1984 - Nombre de trous visibles par tige -



traitements

1 : témoin non-traité

2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha
tous les 10 jours.CE.3 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
60 et 75 JAL.CE.4 : Phoxime 500 g MA/ha 20 JAL
et 330 g MA/ha 40 JAL.Granulés.5 : Carbofuran 200 g MA/ha
20 et 40 JAL.Granulés.6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
20 et 40 JAL.CE.

Figure n° 71

GOHITAFLA 1984 - Nombre de trous visibles : Evolution par traitement -

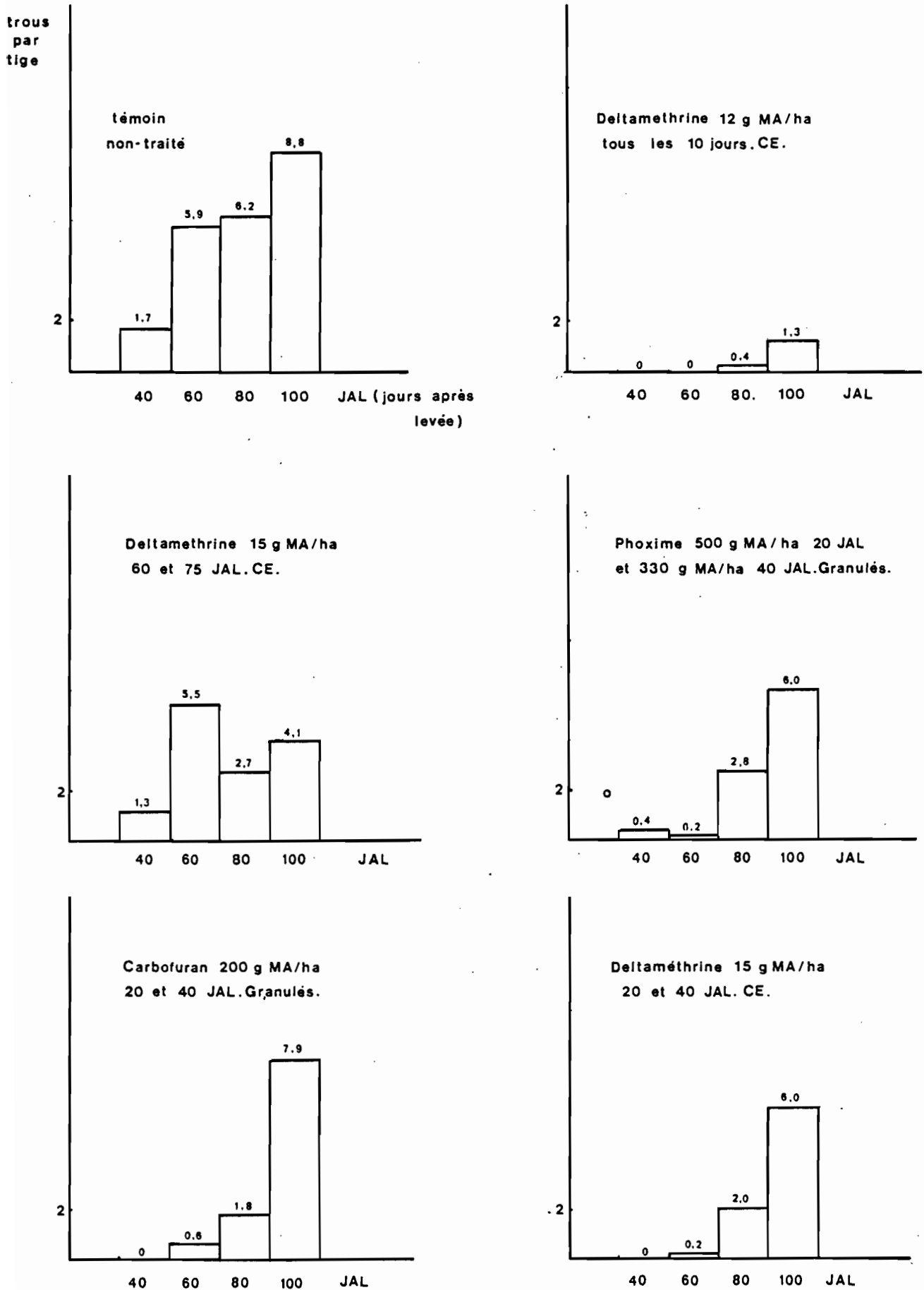
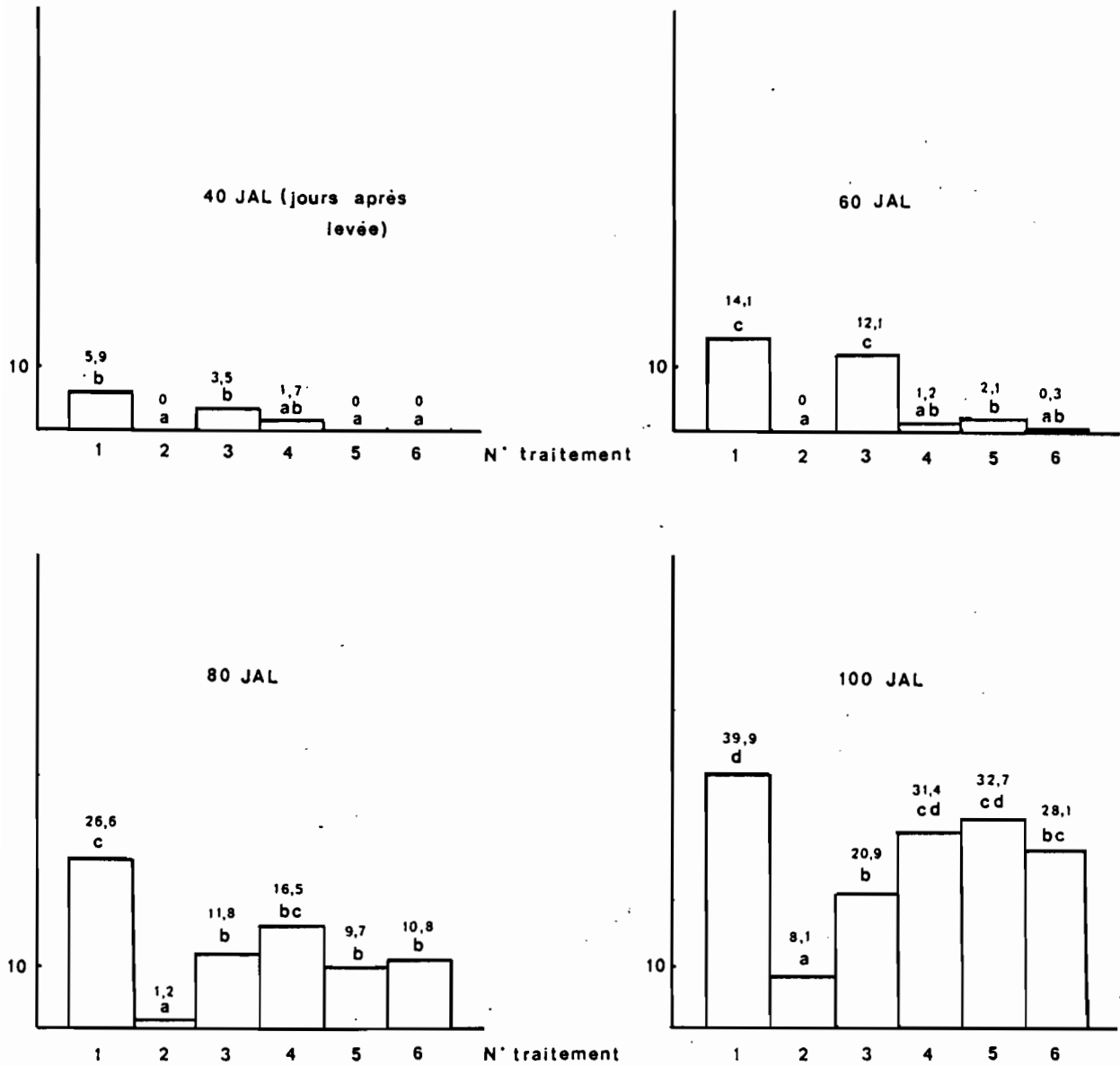


Figure n°72

GOHITAFLA 1984 - Pourcentage d'entre-nœuds attequés -



traitements

- 1 : témoin non-traité
- 2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha tous les 10 jours.CE.
- 3 : Deltaméthrine 15 g MA/ha 60 et 75 JAL.CE.
- 4 : Phoxime 500 g MA/ha 20 JAL et 330 g MA/ha 40 JAL.Granulés.
- 5 : Carbofuran 200 g MA/ha 20 et 40 JAL.Granulés.
- 6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha 20 et 40 JAL.CE.

Figure n°73

GOHITAFLA 1984 - Evolution du pourcentage d'entre-nœuds attaqués -

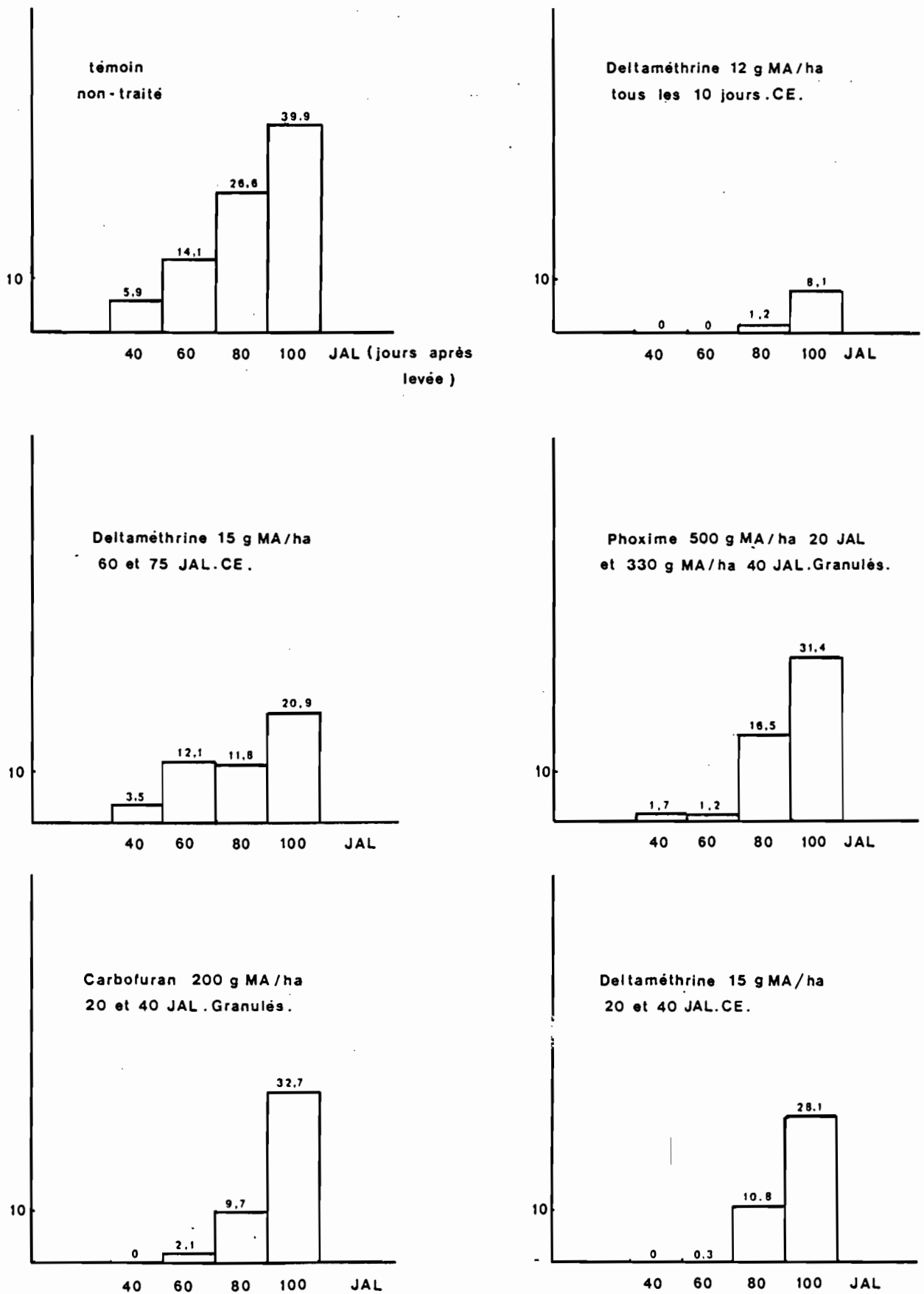
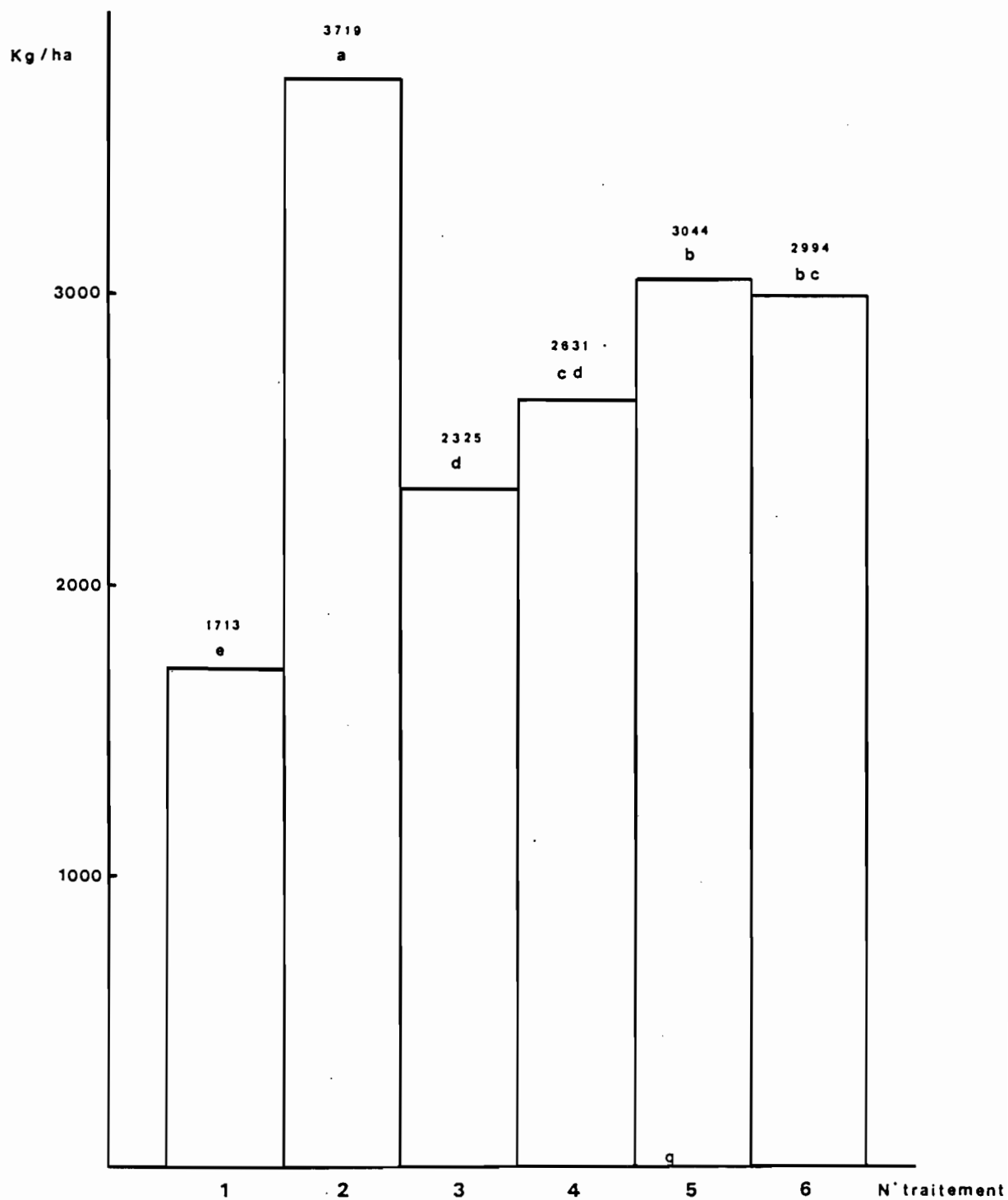


Figure n°74

GOHITAFLA 1984 - Rendements en grain -



1 : témoin non-traité

2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha
tous les 10 jours.CE.

3 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
60 et 75 JAL.CE.

4 : Phoxime 500 g MA/ha
20 JAL et 330 g MA/ha
40 JAL.Granulés.

5 : Carbofuran 200 g MA/ha
20 et 40 JAL.Granulés.

6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
20 et 40 JAL.CE.

Figure n°75

BEOUMI 1984 - Total foreurs dans 100 tiges -

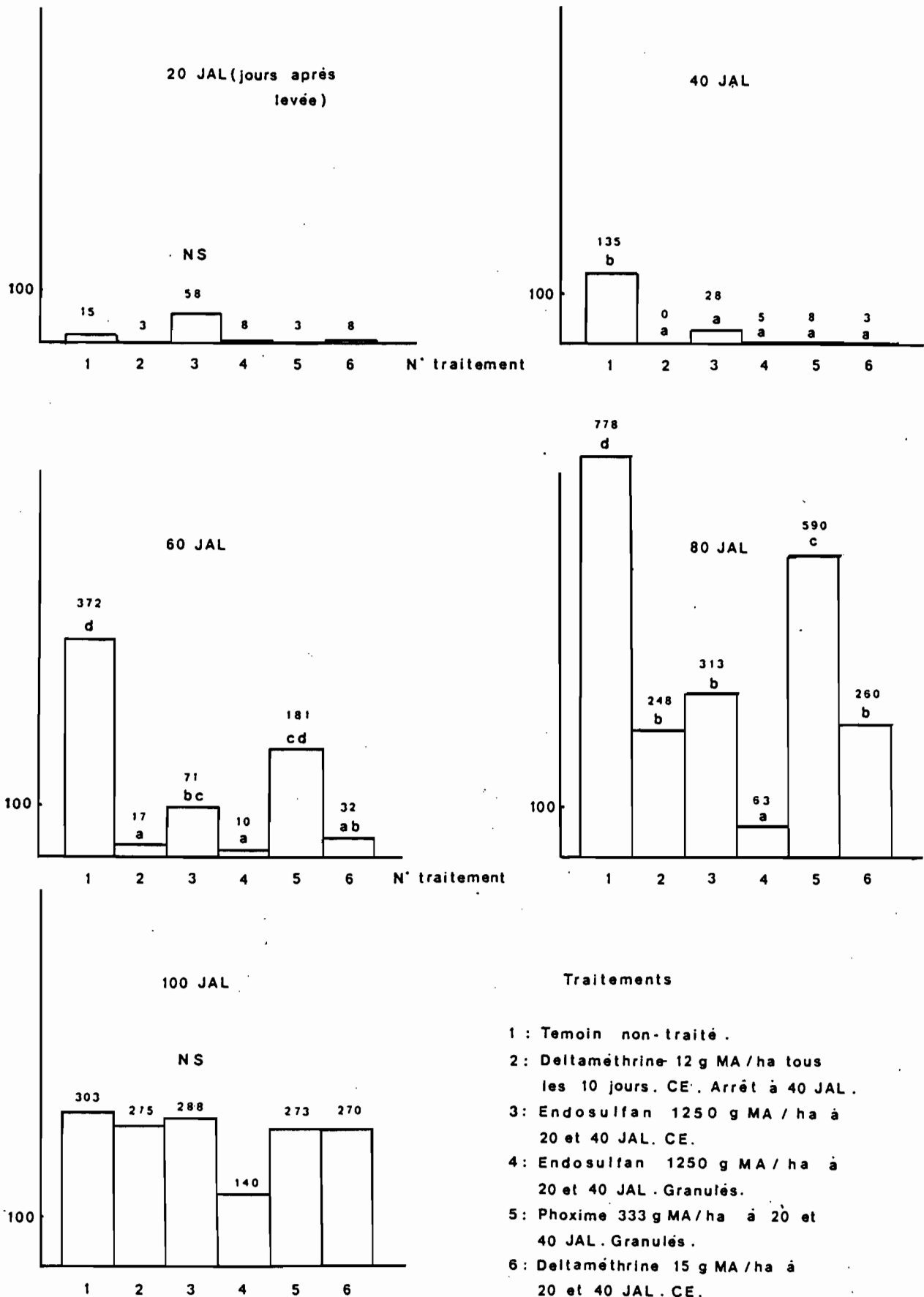


Figure n°76

BEOUMI 1984 - Total foreurs dans 100 tiges : Evolution par traitement -

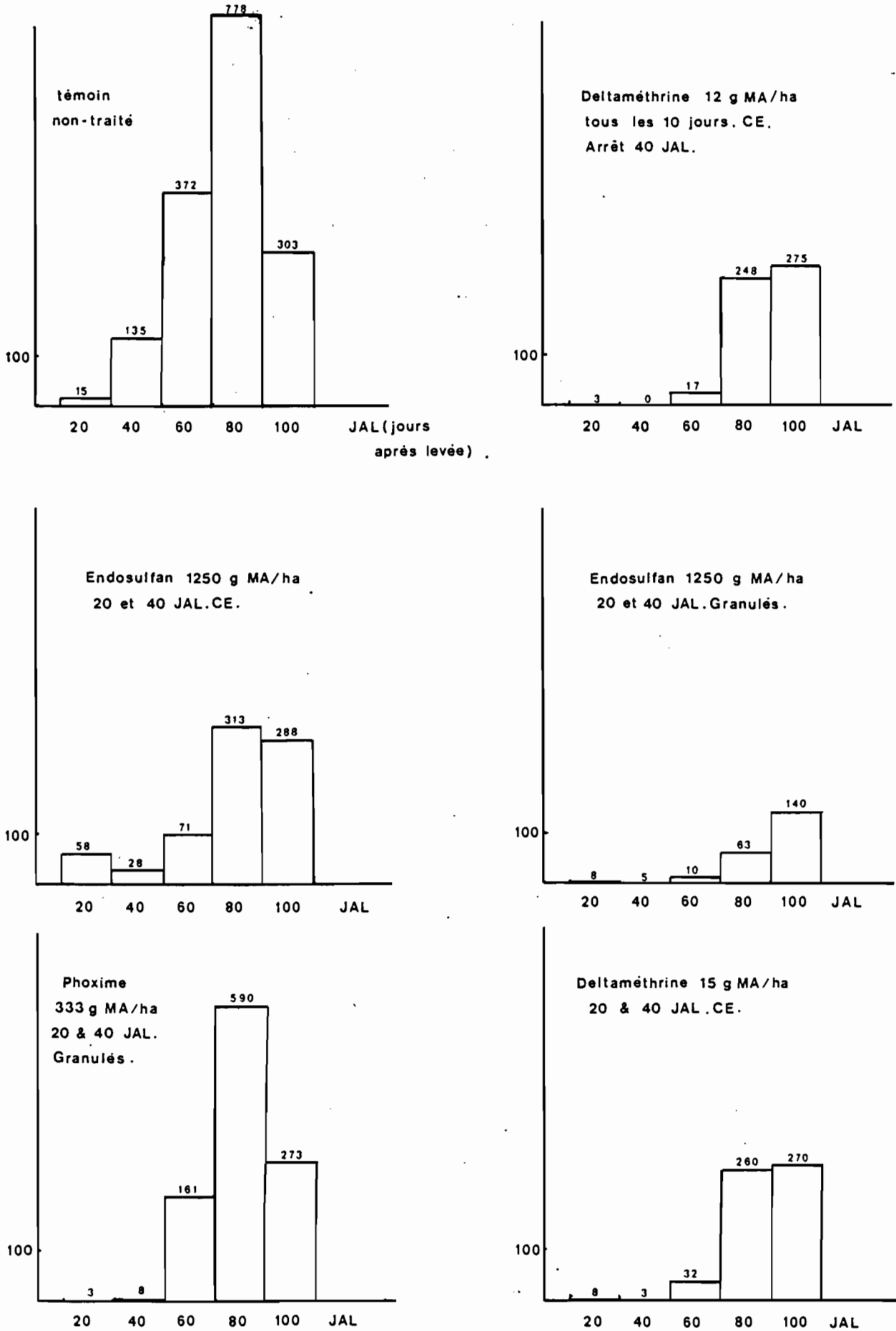
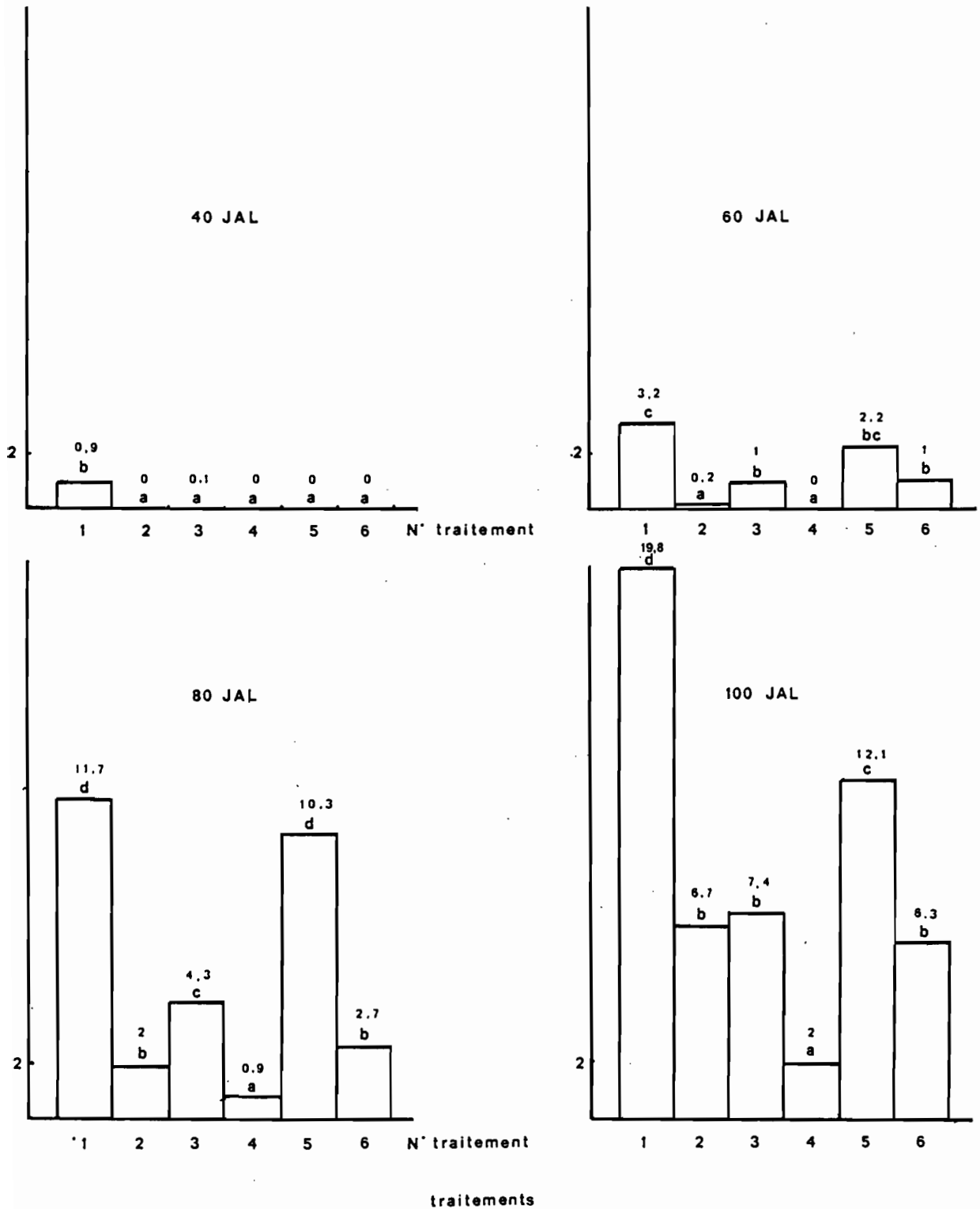


Figure n° 77

BEOUMI 1984 - Nombre de trous visibles par tige -



1 : témoin non-traité

2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha tous les
10 jours .CE. Arrêt 40 JAL .3 : Endosulfan 1250 g MA/ha
20 et 40 JAL .CE .4 : Endosulfan 1250 g MA/ha
20 et 40 JAL .Granulés .5 : Phoxime 333 g MA/ha
20 et 40 JAL .Granulés .6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
20 et 40 JAL .CE .

Figure n°78

BEOUMI 1984 - Nombre de trous visibles par tige : Evolution par objet -

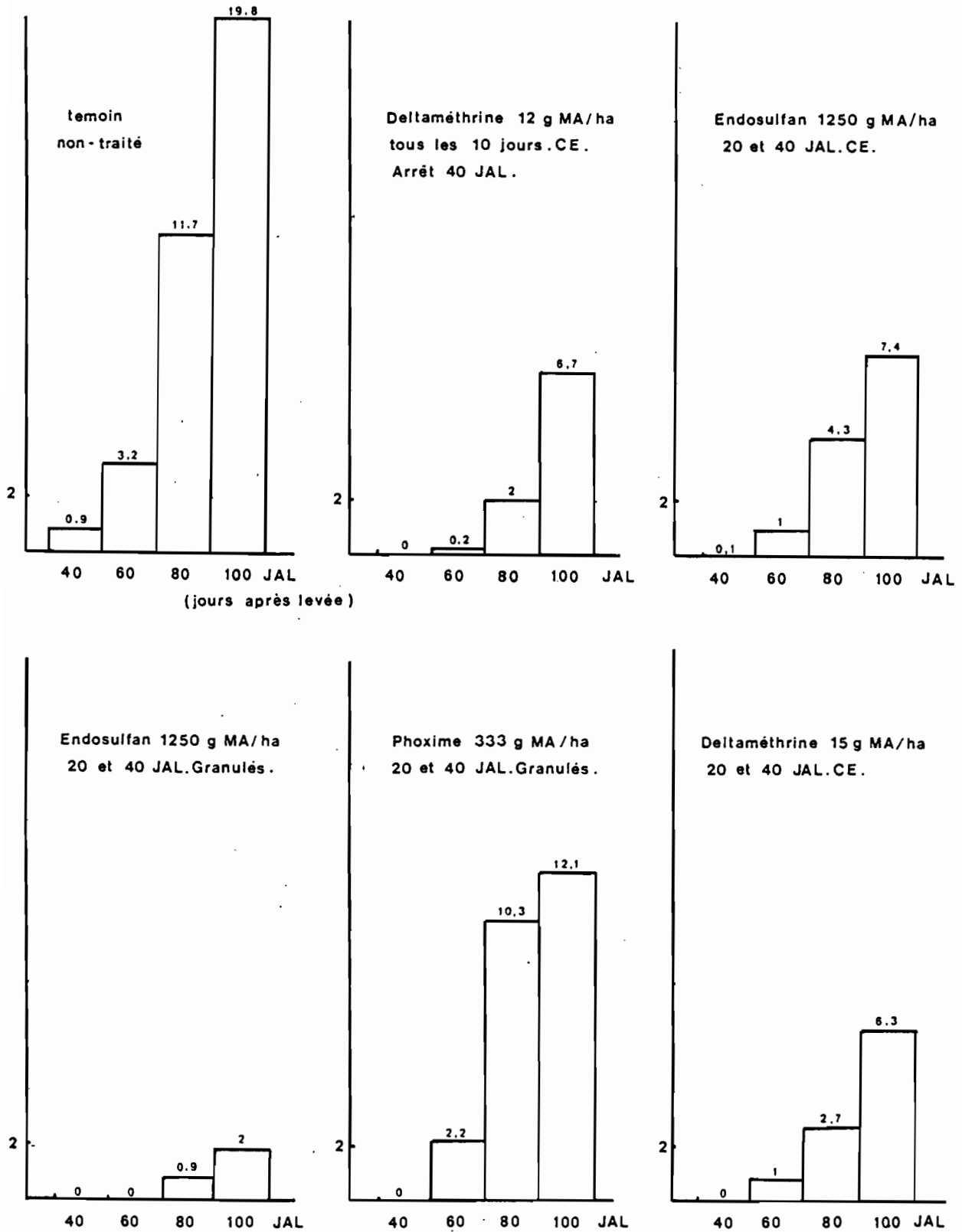
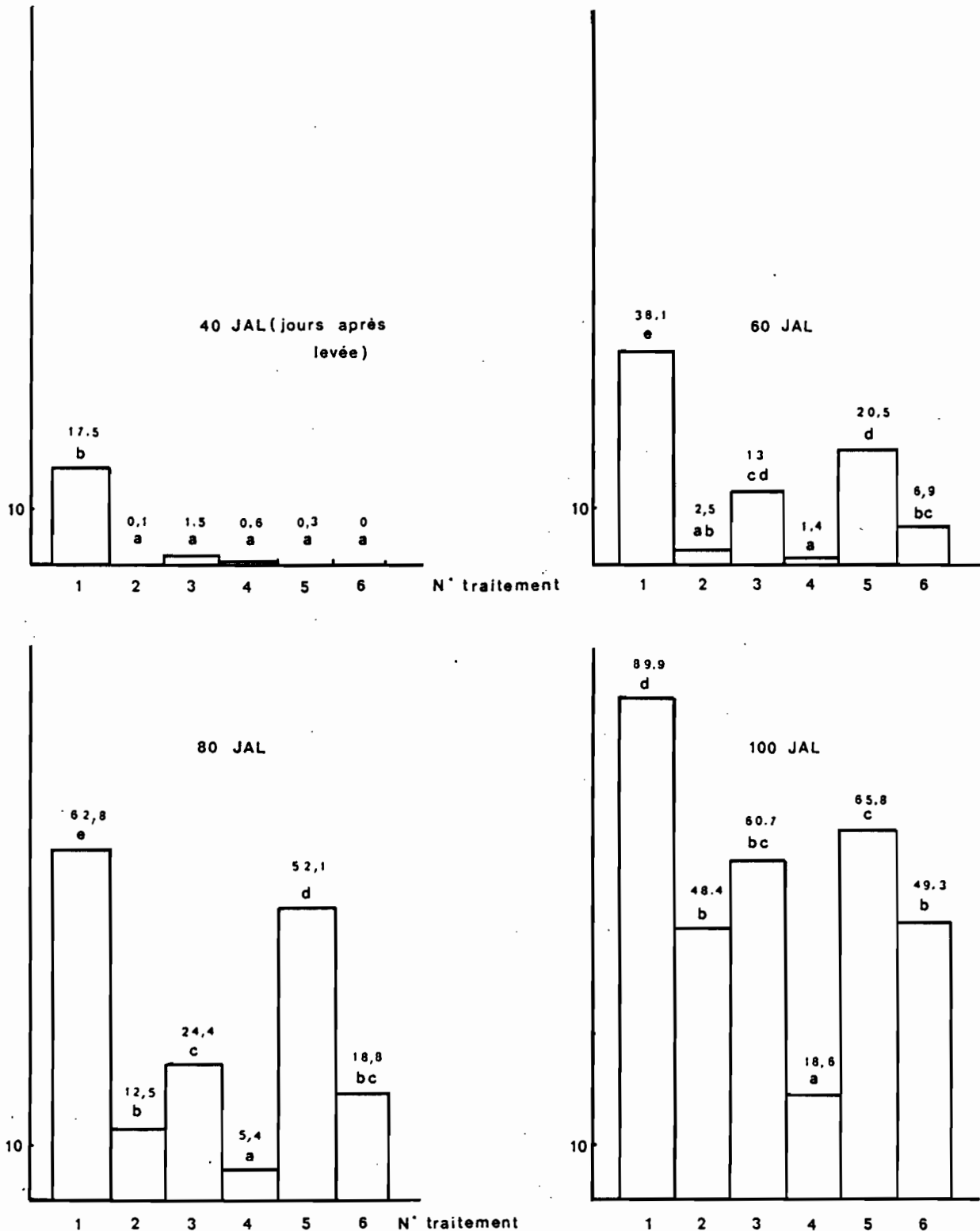


Figure n° 79

BEOUMI 1984 - Pourcentage d'entre-nœuds attaqués -



traitements

1 : témoin non-traité

3 : Endosulfan 1250 g MA/ha
20 et 40 JAL.CE.5 : Phoxime 333 g MA/ha
20 et 40 JAL.Granulés.2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha
tous les 10 jours .CE.
Arrêt 40 JAL.4 : Endosulfan 1250 g MA/ha
20 et 40 JAL.Granulés.6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
20 et 40 JAL.CE.

Figure n° 80

BEOUMI 1984 - Evolution du pourcentage d'entre-nœuds attaqués -

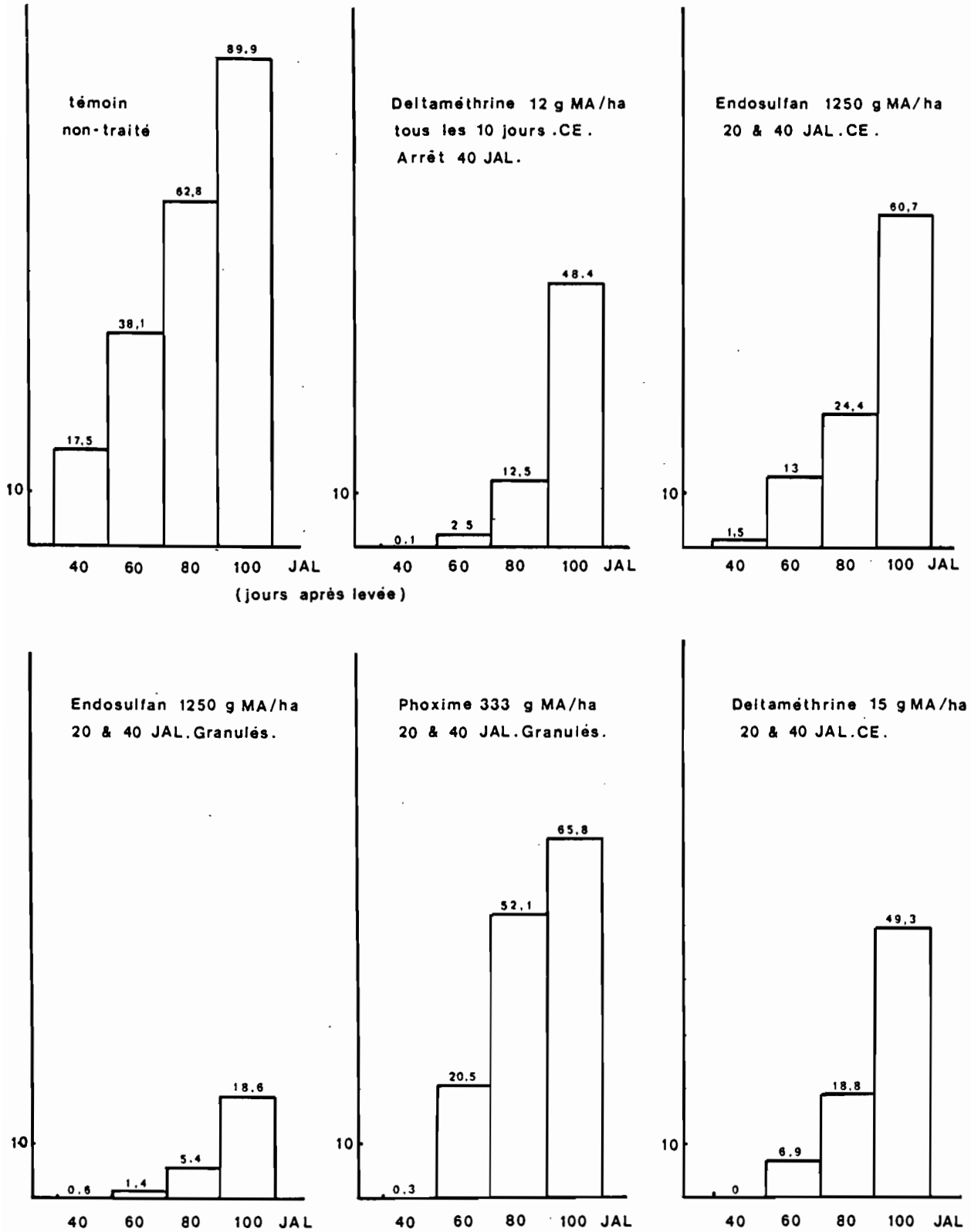
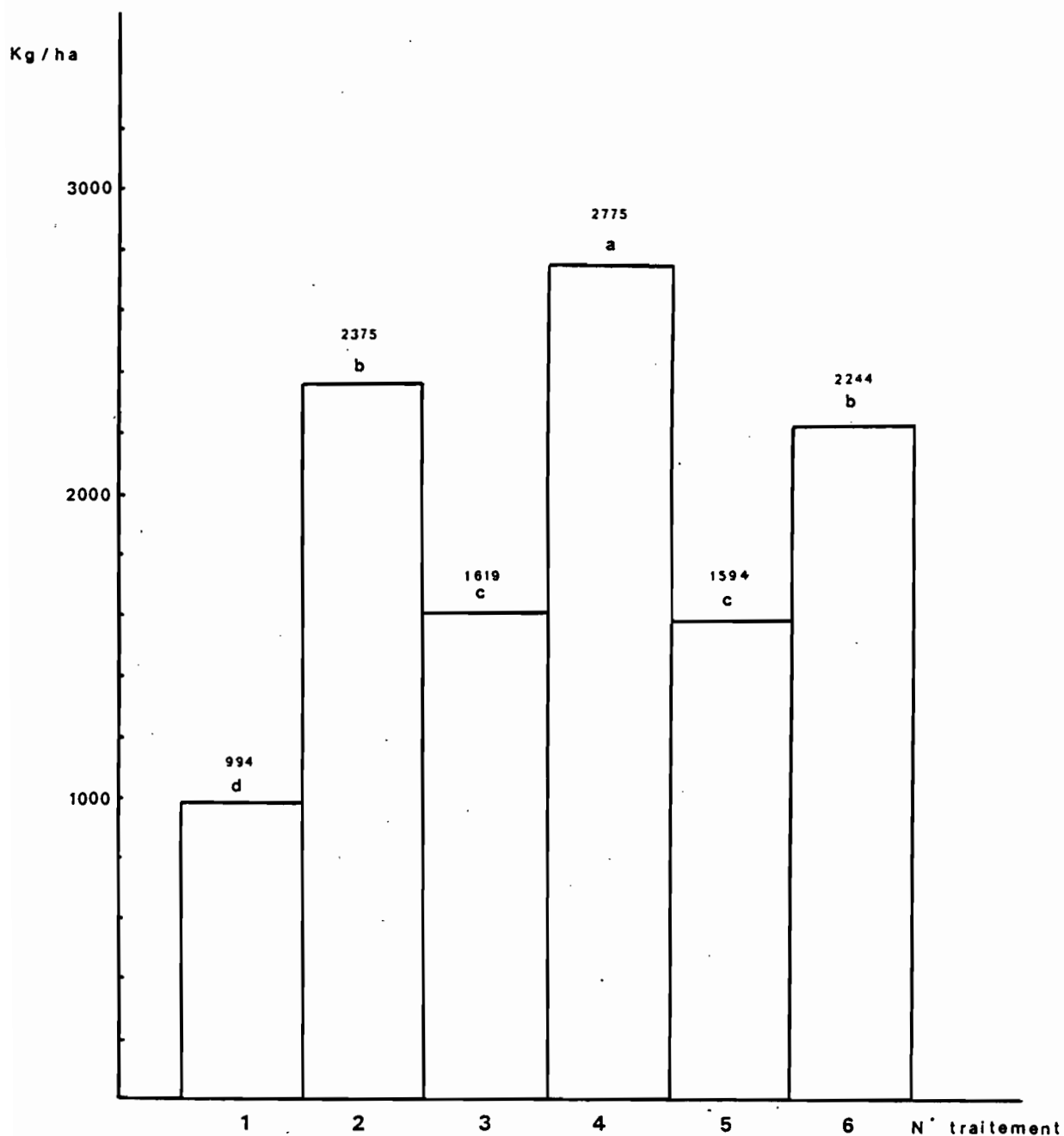


Figure n°81

BEOUMI 1984 - Rendements en grain -



traitements

1 : témoin non-traité

2 : Deltaméthrine 12 g MA/ha
tous les 10 jours. Arrêt 40 JAL.3 : Endosulfan 1250 g MA/ha
20 et 40 JAL.CE.4 : Endosulfan 1250 g MA/ha
20 et 40 JAL.Granulés.5 : Phoxime 333 g MA/ha
20 et 40 JAL.Granulés.6 : Deltaméthrine 15 g MA/ha
20 et 40 JAL.CE.

On pourra constater cette fois-ci que des différences nettes apparaissent tant au niveau des attaques que des rendements. Le traitement précoce était donc la bonne solution, du moins dans les trois localités où les tests ont été réalisés.

2.1.1.5. Impact des traitements sur les divers foreurs

Les résultats présentés ci-dessus concernent l'impact des traitements sur l'ensemble des foreurs. En réalité, suivant les localités, on ne retrouve pas le même faciès parasitaire (voir 3e partie). Nous avons donc détaillé, sur le tableau n° 26, l'efficacité des traitements sur les divers foreurs rencontrés sur le point d'observation de Daoukro en 1984 : il n'y a, en effet, qu'à Daoukro, que l'on trouve des populations suffisantes de Busseola et de Sesamia. Sur les autres points d'observation en 1984, Eldana représentait l'essentiel des foreurs. Les résultats traduisent un comportement très voisin des insecticides pour chacun des foreurs considérés.

2.1.2. Foreurs des épis

Mussidia nigrivenella est l'espèce dominante au niveau des épis : à titre d'exemple, en 1984, c'est à Gohitafla où Mussidia était la moins représentée dans les épis avec 75 % des insectes présents, le reste appartenant à l'espèce Eldana saccharina. A Daoukro, les chenilles de Mussidia constituent sur des parcelles traitées uniquement en début de cycle 96,2 % des foreurs présents, alors qu'à Béoumi elles représentent, sur les parcelles non-traitées, 97,4 % des foreurs de l'épi. Nos analyses ont donc porté essentiellement sur cet insecte qui est le seul réellement inféodé aux épis (les autres foreurs passant souvent de la tige à l'épi) et qui est le seul dont les populations soient suffisantes pour permettre une analyse correcte.

Dans aucun des essais que nous avons pu réaliser nous n'avons constaté d'impact des traitements sur les populations de Mussidia. Aucun des traitements tardifs n'a été efficace, et pas davantage le traitement systématique tous les 10 jours. Nous présentons, sur le tableau n° 27 les résultats obtenus en 1984, le traitement n° 1 est le témoin non-traité, le traitement n° 2 est le traitement

Tableau n° 26

Impact des traitements sur les divers foreurs rencontrés à Daoukro en 1984

Numéro traitement*	40 JAL						80 JAL					
	SESAMIA		ELDANA		BUSSEOLA		SESAMIA		ELDANA		BUSSEOLA	
	Nombre par tige	Duncan	Nombre par tige	Duncan	Nombre par tige	Duncan	Nombre par tige	Duncan	Nombre par tige	Duncan	Nombre par tige	Duncan
1	-	-	5,0	b	4,8	c	1,9	bc	3,2	c	5,3	d
2	-	-	2,0	a	0,1	a	0,6	a	0,3	a	0,3	a
3	-	-	4,5	b	1,7	b	2,8	c	2,5	bc	3,9	c
4	-	-	5,6	bc	2,5	b	2,2	bc	2,2	bc	4,3	cd
5	-	-	6,7	c	5,1	c	2,0	bc	2,3	bc	4,5	cd
6	-	-	4,4	b	1,5	ab	1,6	ab	1,4	b	2,5	b
Analyse			F(5,30) = 8,15(HS) CV = 32,9 %		F(5,30)=18,06(HS) CV = 50,0 %		F(5,30)=4,12(HS) CV = 54,0 %		F(5,30)=8,26(HS) CV = 50,4 %		F(5,30)= 23,70(HS) CV = 30,6 %	

HS : Hautement significatif (à P = 0,99).

* 1 : Témoin non-traité

2 : Deltaméthrine 12g MA/ha tous les 10 jours.CE.

3 : Cyperméthrine 12g MA/ha à 20 et 40 JAL - Granulés.

4 : Phoxime 250g MA/ha à 20 et 40 JAL - Granulés.

5 : Chlorpyriphos-éthyl 120g MA/ha à 20 et 40 JAL - Granulés.

6 : Deltaméthrine 15g MA/ha à 20 et 40 JAL - CE.

systematique tous les 10 jours avec la Deltaméthrine à 12g MA/ha ; les autres traitements étant essentiellement des traitements de début de cycle.

2.2. Aspect variétal

Les divers tableaux n° 19 à n° 25 révèlent qu'en règle générale on n'observe pas de différence significative entre les variétés testées en ce qui concerne les attaques d'insectes. Une seule exception notable est à souligner à Bouaké en 1982 où la variété hybride IRAT 81 est significativement moins attaquée que le composite CJB ; ce résultat serait à confirmer compte-tenu du niveau d'attaque relativement faible. Un autre cas de différence significative est rencontré à Gohitafla en 1984 pour le seul relevé du 40e JAL. Il s'agit là d'un fait inexplicable puisque tous les autres relevés ne présentent pas de différence au niveau variétal, et l'on doit plutôt le considérer comme un artefact d'échantillonnage.

Au niveau des rendements quelques différences apparaissent en 1982 qui sont liées aux potentialités propres des variétés et qui n'ont aucun rapport avec une résistance quelconque aux foreurs : c'est en effet en des lieux où les attaques sont très faibles ou nulles que les variétés comparées se sont distinguées. Nous indiquons, dans le tableau n° 28 les variétés testées en 1982, les rendements obtenus par variété et la signification de la différence.

Tableau n° 27

Impact des traitements insecticides sur Mussidia nigrivenella Rag en 1984
(voir nature des traitements en figure n° 75 , 68, et 60)

Lieu Traitement	Nombre de MUSSIDIA par épi		
	BEOUMI	GOHITAFLA	DAOUKRO
1	4,6	2,9	-
2	4,9	2,9	15,1
3	4,6	2,0	14,9
4	5,6	2,1	15,3
5	5,4	1,8	-
6	4,0	2,9	11,9
Analyse	F(7,35) = 0,52 (NS) CV = 48,5 %	F(5,30) = 0,94 (NS) CV = 60,3 %	F(3,18) = 0,92 (NS) CV = 33,8 %

NS : Non significatif

Tableau n° 28

Rendements (en kg/ha) obtenus en cycle unique en 1982 selon les variétés et les localités

Localité \ Variété	TINGRELA	BOUNDIALI	DIANRA	NIAKARA	DABAKALA	BOUAKE	TIENIGBOUE	TOUBA	GOHITAFILA	DAOUKRO
C.J.B		3734	3504		605	1978			1906	278
TUXPENDO	4433						2765	3620	2013	
POZA RICA	3599		4002	1729	813		2700			332
IRAT 81		4943				3262		3822		
VIOLET DE KATIOLA				1125						
Signification de la différence*	HS	HS	NS	HS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* HS : Hautement significatif (à P = 0,99)

NS : Non significatif

3. DISCUSSION

3.1. Les produits et les doses efficaces

A l'issue de ces trois années d'essais on peut affirmer que la Deltaméthrine permet de contrôler correctement les principaux foreurs de la tige du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire et d'obtenir un gain de rendement appréciable en cas d'attaque : en 1984, deux traitements à 20 et 40 JAL ont permis un gain de plus d'une tonne de maïs par hectare par rapport au témoin en chacune des trois localités où les essais ont été implantés.

Les pyréthrines ayant en général un spectre d'efficacité assez voisin, on peut en conclure que les autres pyréthrines peuvent également être utilisées : nous avons d'ailleurs noté l'intérêt du Fenvalérate à 60g MA/ha tous les 10 jours. Il faut néanmoins établir avec précision les "ratios" entre les divers pyréthri-noïdes. Mais d'ores et déjà, une arme contre les foreurs existe : la Deltaméthrine à 15g MA/ha appliquée à 20 et 40 JAL.

Parmi les autres produits, l'Endosulfan à 1250g MA/ha appliqué dans le cornet apparait excellent : son efficacité se maintient sur tout le cycle à Béoumi, malgré des attaques très fortes en fin de cycle, atteignant près de 8 foreurs par tige sur le témoin au 80e JAL. Cette efficacité est sans doute comparable à un traitement systématique tous les 10 jours avec la Deltaméthrine : on ne peut malheureusement pas s'en assurer sur l'essai de Béoumi à la suite d'une erreur de l'observateur qui a arrêté le traitement à la Deltaméthrine 12g MA/ha tous les 10 jours au 40e JAL alors qu'il devait être poursuivi durant tout le cycle. On peut toutefois le confirmer grâce à un petit essai annexe mis en place à Daoukro (figure n° 67) où les relevés ont été allégés, et où l'on constate que l'endosulfan en granulés ne se distingue pas d'un traitement sur tout le cycle avec de la Deltaméthrine à 15g MA/ha appliquée tous les 15 jours.

Parmi les autres produits testés, le carbofuran, peu ou pas efficace à 75g MA/ha, apparait intéressant à 200g MA/ha à 20 et 40 JAL. Ce résultat, toutefois, obtenu sur une seule année, mérite confirmation.

Le Phoxime en granulés est nettement moins intéressant que la Deltaméthrine, même à une dose de 500g MA/ha au 20e JAL et 330g MA au 40e JAL.

Le *Bacillus thuringiensis*, qui avait paru intéressant en 1983, retesté en conditions d'attaques fortes, se révèle totalement inefficace à la dose de 1 kg de produit commercial à l'hectare. Le Chlorpyrifos-éthyl à 120g MA/ha donne également un très mauvais résultat.

3.2. Les dates de traitement

Dans les conditions d'attaques en zone centre sur le cycle unique ou le second cycle, les dates de traitement à retenir sont le 20e et 40e jour après levée. Ces dates permettent un contrôle jusqu'au 60e jour après levée, retardant suffisamment l'infestation pour obtenir un gain de rendement appréciable. Des traitements à partir du 60e JAL ne sont pas aussi intéressants, même lorsque l'attaque de début de cycle ne paraît pas très importante et que l'attaque se développe en fin de cycle. On peut s'en persuader en comparant les niveaux 3 (Deltaméthrine 15g MA/ha à 60 et 75 JAL) et 6 (Deltaméthrine 15g MA/ha à 20 et 40 JAL) sur l'essai de Gohitafla en 1984 : sur les parcelles du niveau 3 l'attaque se situe à environ 5 borers pour 10 tiges jusqu'au 40e JAL et atteint 13 borers pour 10 tiges à 60 JAL ; les traitements appliqués dès ce moment stabilisent l'infestation. Les traitements de début de cycle sur les parcelles du niveau 6 bloquent l'infestation jusqu'au 60e JAL inclus mais sont ensuite inefficaces : au 80e JAL l'attaque atteint déjà plus de 2 foreurs par tige. Or si l'on examine les rendements, le niveau 3 ne permet que de gagner 612 kgs par rapport au témoin, contre 1281 kgs pour le niveau 6.

Il y a donc lieu de privilégier les traitements précoces dans les zones centre et sud-est. Toutefois, localement, et plus au nord, les attaques peuvent débiter plus tardivement comme à Bouaké en 1983. Dans ce cas le traitement du 20e JAL serait sans doute inutile, mais seuls d'autres essais pourront permettre de l'affirmer.

3.3. Les modes d'épandage et la formulation

Nous avons testé plusieurs modes d'épandage et plusieurs formulations : épandage à la main sur la ligne de semis d'une formulation granulée, épandage dans le cornet, à l'aide d'une poudreuse, de formulation granulée, épandage avec un appareil classique à dos ou monté sur tracteur enjambeur de formulations en concentré émulsifiable et en poudre mouillable.

Nous avons vu combien le mode d'épandage est important avec les résultats de Daoukro en 1982 : le Carbofuran, à une dose 8,5 fois plus faible est plus efficace dans le cornet que dans le sol, bien que ce soit un produit à systémie ascendante.

La nature de la formulation apparaît également fondamentale : la preuve en est donnée par la comparaison des traitements à l'Endosulfan à Béoumi en 1984 : l'Endosulfan liquide CE épandu avec un appareil classique à dos ne permet qu'un gain de 625 kgs par rapport au témoin, contre 1781 kgs pour l'Endosulfan en granulés à la même dose.

Pour tous les essais dont nous avons fait état, l'épandage des produits en concentré émulsifiable ou en poudre mouillable a été effectué à l'aide d'un appareil à dos muni d'une rampe verticale permettant d'asperger tout le pied. Un autre test a été mené sur une exploitation motorisée avec un tracteur enjambeur muni d'un pulvérisateur à rampe horizontale. Le test n'a pu être analysé statistiquement et les parcelles n'ont pu produire en raison d'une attaque importante de streak et d'autres maladies, mais le relevé effectué au 66e jour dénote une tendance qui permet de penser que le traitement a montré une certaine efficacité (tableau n°29).

Tableau n° 29

Essai avec tracteur enjambeur à Béoumi en 1983.

Nombre d'insectes pour 100 tiges à 66 JAL

Témoin non traité	47,5
Deltaméthrine 15g MA/ha à 55 et 70 JAL	10
Deltaméthrine 15g MA/ha à 40, 55, 70 et 85 JAL	10

Le choix de la formulation n'est d'ailleurs pas seulement lié à une efficacité éventuelle sur les ravageurs visés. D'autres facteurs entrent en ligne de compte qui peuvent influencer sur la décision d'utiliser telle ou telle formulation : l'application en granulés dans le cornet présente l'avantage d'une localisation précise sur le plant, à l'aisselle des feuilles surtout, et permet ainsi de préserver en grande partie l'entomofaune utile. Sa rémanence, qui est fonction de la dissolution progressive par les pluies et la rosée, est en général meilleure que celle des concentrés émulsifiables ; et à dose de matière active égale (voir l'exemple de l'Endosulfan à Béoumi en 1984) l'efficacité du granulé est meilleure en raison sans doute de la localisation en des parties du plant particulièrement fréquentées par les chenilles et du moindre lessivage par les pluies. Enfin, la formulation granulée présente l'avantage, non négligeable en pratique, de pouvoir être appliquée sans apport d'eau : dans certaines régions, en effet, trouver de l'eau à proximité des champs n'est guère possible, et le transport d'eau est une corvée particulièrement pénible : c'est ce qui a motivé, en partie, la décision de la Société de Développement encadrant les planteurs de coton d'éliminer le traitement classique au profit du traitement ULV réalisé à l'aide de formulations huileuses.

Pourtant, la formulation en concentré émulsifiable présente quelques avantages qui la rendent particulièrement intéressante : tout d'abord, avec les techniques adoptées au cours de nos essais, l'épandage d'une formulation avec un appareil classique est environ 5 fois plus rapide que l'épandage de granulés dans le cornet de chaque pied de maïs à l'aide d'une poudreuse ; dès que la surface est un peu importante, le temps devient donc un facteur limitant pour l'application avec une poudreuse. Le fait, en outre, qu'il existe encore des stocks d'appareils classiques fonctionnels en zone des savanes permettrait, dans un premier temps, de fournir gratuitement aux planteurs un appareil d'épandage.

Au niveau des exploitations motorisées également, si l'on peut trouver des appareils classiques aisément, car ils servent tout aussi bien aux traitements herbicides qu'insecticides, il n'en va pas de même des microgranulateurs nécessaires pour le traitement en granulés, qui devraient faire l'objet d'investissements spéciaux.

La formulation en concentré émulsifiable présente un autre avantage qui est peut-être plus spécifique à la Côte d'Ivoire : elle peut être préparée sur place, ce qui permet de n'importer que la matière active. Ce n'est pas le cas des formulations granulées qui sont importées telles quelles, avec un coût de transport important au gramme de matière active puisque c'est essentiellement le support que l'on transporte ; à dose de matière active égale les concentrés émulsifiables sont donc bien moins chers. On peut s'en rendre compte avec les doses des essais de 1984 qui ont été déterminées pour la plupart en fonction de leur compétitivité, du point de vue économique, avec la Deltaméthrine à 15g MA/ha : on voit par exemple que la cyperméthrine en granulés n'a pu être appliquée qu'à 12g MA/ha, alors que, pour être comparable en classique à la Deltaméthrine à 15g MA/ha, elle devrait se situer aux environs de 60g MA/ha. Si la localisation du granulé permet de penser que l'on pourrait diminuer les doses par rapport à l'épandage classique, on voit toutefois que le coût du granulé est tel qu'on ne peut atteindre des doses efficaces à un prix compétitif avec les produits classiques.

Ceci ne sera toutefois peut-être pas le cas général car le carbofuran à la dose testée, si son efficacité est confirmée, est économiquement compétitif avec la Deltaméthrine 15g MA/ha.

3.4. Le cas de *Mussidia nigrivenella*

Les traitements se sont révélés inefficaces contre *Mussidia nigrivenella*, foreur de l'épi de maïs. Doit-on attribuer ce phénomène à une mauvaise application ou bien à une inefficacité de l'insecticide ? A priori les deux hypothèses sont envisageables, séparément ou simultanément. Il faudrait davantage d'essais pour conclure. Nous avons toutefois essayé d'apporter un élément de réponse en estimant la dose létale 50 (DL 50) par application topique au laboratoire de Deltaméthrine pour *Mussidia* et pour *Eldana*. *Eldana* étant, au champ, éliminée par la Deltaméthrine, on peut penser qu'une mortalité comparable des deux espèces par application topique permettrait de conclure à une mauvaise couverture de l'épi lors des traitements. Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau n° 30. Deux remarques préliminaires s'imposent avant de les examiner : ces applications topiques ont été réalisées sur des chenilles âgées, pesant en moyenne 70mg. Or, dans le cas de *Mussidia*, seules les néonates peuvent être en contact avec le produit. On ne peut donc à priori conclure que les toxicités sur les larves âgées seront dans

Tableau n° 30

Détermination de la DL 50 sur des larves âgées de Mussidia nigricornis et d'Eldana saccharina par application topique de Deltaméthrine.

Concentration de Deltaméthrine en g/l	<u>ELDANA</u>		<u>MUSSIDIA</u>	
	Pourcentage de mortalité à 168 heures	DL 50 calculée en g/l	Pourcentage de mortalité à 168 heures	DL 50 calculée en g/l
Temoin-acétone	3,3	4,2 x 10 ⁻² (comprise entre 1,5 x 10 ⁻² g/l et 11,7 x 10 ⁻² g/l)	46,6	97,0 x 10 ⁻² (comprise entre 48 x 10 ⁻² g/l et 195 x 10 ⁻² g/l)
10 - 2	35		40	
10 - 1	55		45	
1	100		75	
3	100		95	
6	100		100	

le même rapport pour les néonates, et une expérimentation appropriée devrait être entreprise pour les L1. La deuxième remarque concerne le délai d'observation après l'application : très souvent (Brazzel, 1970) ce délai est assez bref, de 24 ou 48 heures. Brazzel précise toutefois qu'il est parfois intéressant de poursuivre les observations jusqu'à 96 heures après l'application ; dans notre cas, il a fallu attendre jusqu'à 168 heures pour obtenir une mortalité totale pour les doses les plus fortes. Même après 96 heures, la mortalité n'était totale pour aucun des deux insectes, bien que la plupart des chenilles ayant reçu les doses fortes étaient moribondes. Nous avons donc du attendre suffisamment longtemps pour obtenir les résultats, ce qui s'est traduit par une mortalité assez élevée des Mussidia dans le témoin traité à l'acétone pure, en raison du milieu d'élevage peu approprié.

On peut constater que la DL 50 pour Mussidia est 23 fois supérieure à celle d'Eldana. Ce résultat permet de penser qu'il est possible que l'efficacité du produit soit en cause. Cette conclusion est à confirmer, en particulier par des tests sur les néonates et des applications au champ, mais elle permet d'ores et déjà de penser que la technique d'application n'est pas seule en cause.

3.5. La lutte variétale

Nous n'avons constaté aucune différence de sensibilité aux foreurs entre les diverses variétés testées. Ceci n'est d'ailleurs pas surprenant dans la mesure où les sélectionneurs, bien que notant le facteur "casse", n'ont pas envisagé de sélection orientée vers la résistance aux foreurs jusqu'en 1982 (Marchand, 1980 et 1983). C'est en effet pour la première fois en 1982 que le sélectionneur, prenant conscience de l'importance du problème foreur, s'est engagé dans une voie de sélection plus spécifique contre les foreurs (Hainzelin, 1983, Sauphanor 1984). L'objectif de cette sélection était d'introduire dans la variété CJB des gènes lignificateurs en vue d'augmenter la résistance à la casse de la variété CJB. Cette première tentative s'est soldée par un échec : "par rapport au CJB, la casse due aux foreurs sur CJB SQ n'est pas réduite" (Sauphanor, 1984).

3.6. La lutte agronomique

Les niveaux d'attaque observés permettent de définir quelques recommandations simples en vue de limiter les pertes dues aux foreurs en zones des savanes :

- Au niveau régional, il faut, dans la mesure du possible, privilégier le nord et l'ouest de la zone pour la culture du maïs en cycle unique. La production semencière, en particulier, peut difficilement se concevoir en cycle unique en zone centre sans protection insecticide.

- En zone centre, le maïs étant nettement moins attaqué en avant-culture, celle-ci est à préférer si l'on n'envisage pas de lutte chimique contre les foreurs.

Enfin, dans les zones où Busseola représente un risque, la destruction des résidus de récolte ou leur enfouissement assez profondément (les adultes peuvent émerger même avec un enfouissement à 10 cm mais la mortalité est très forte : Duplessis et Lea, 1943) permet d'anéantir les larves quiescentes qui y demeurent dans l'attente des premières pluies. Cette méthode, citée par de nombreux auteurs (Duerden, 1953 ; Fröhlich et Rodewald, 1970 ; Adesiyun et Ajayi, 1980) est également conseillée pour Eldana saccharina par Girling (1978), en particulier dans le cas où la culture doit être reconduite peu après une première récolte.

Par contre pour certains foreurs, il ne semble pas que cette méthode présente quelque intérêt : c'est le cas, selon Bowden (1976), pour Sesamia nonagrioides botanephaqa en raison de la réinfestation à partir de plantes-hôtes sauvages.

3.7. La qualité de l'expérimentation

Nous avons souligné la nécessité de reproduire à plusieurs reprises les essais afin de confirmer les résultats : pour diverses raisons, liées aussi bien à la précision de l'échantillonnage qu'à la qualité de l'épandage de l'insecticide ou au sérieux de l'observateur, des erreurs peuvent aisément se glisser dans les chiffres obtenus.

L'analyse de variance et le coefficient de variation qui en est issu donnent déjà une image de la qualité de l'expérimentation. D'autres méthodes, plus "visuelles", donnent également une excellente représentation du comportement plus ou moins homogène des traitements et des anomalies éventuelles. C'est le cas, en particulier, de "l'Analyse en composantes principales" (A.C.P.) qui permet de positionner des individus (dans le cas présent : les parcelles) en fonction d'un

certain nombre de variables qui définissent des axes principaux. Les nuages de points obtenus par cette méthode sont représentés sur les figures n° 82 à 84, concernant les trois essais de 1984. L'axe n° 1 (horizontal) traduit, pour tous ces graphiques, les mêmes tendances : plus l'on se déplace vers la droite et plus le rendement augmente alors que l'attaque diminue ; à l'inverse les points situés vers la gauche se caractérisent par une forte attaque et un faible rendement. L'axe n° 2 (vertical) distingue les attaques de fin de cycle (vers le bas pour Daoukro et Béoumi, vers le haut pour Gohitafla) des attaques de début de cycle. Chacune des parcelles est figurée par un chiffre qui correspond au numéro du traitement.

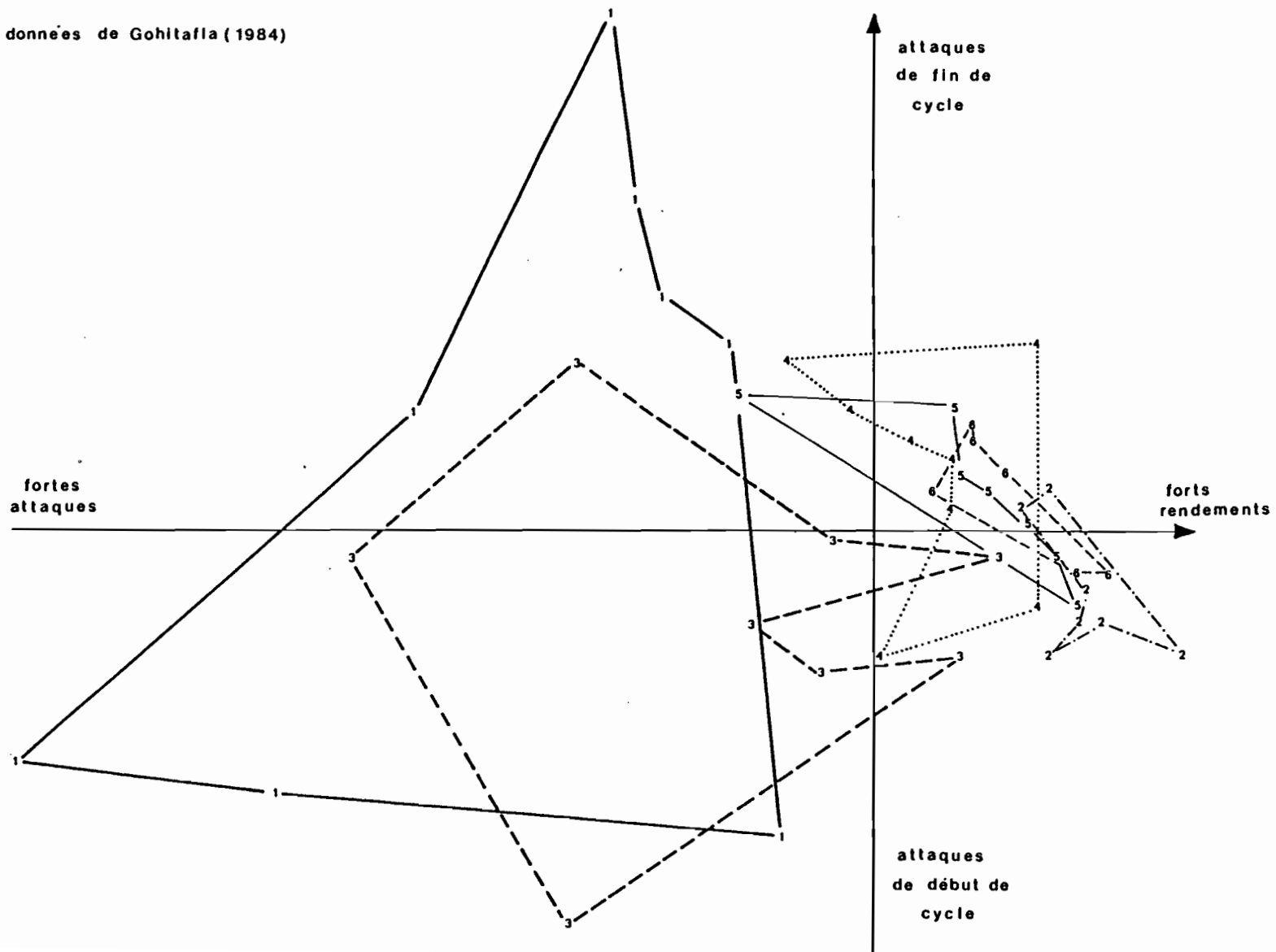
Les graphiques présentés mettent en évidence la grande homogénéité des résultats obtenus avec certains traitements insecticides, pour lesquels on peut donc confirmer les conclusions de l'Analyse de Variance. Par contre, pour d'autres traitements, la grande dispersion du nuage de points permet de penser qu'un nouveau test du produit est nécessaire.

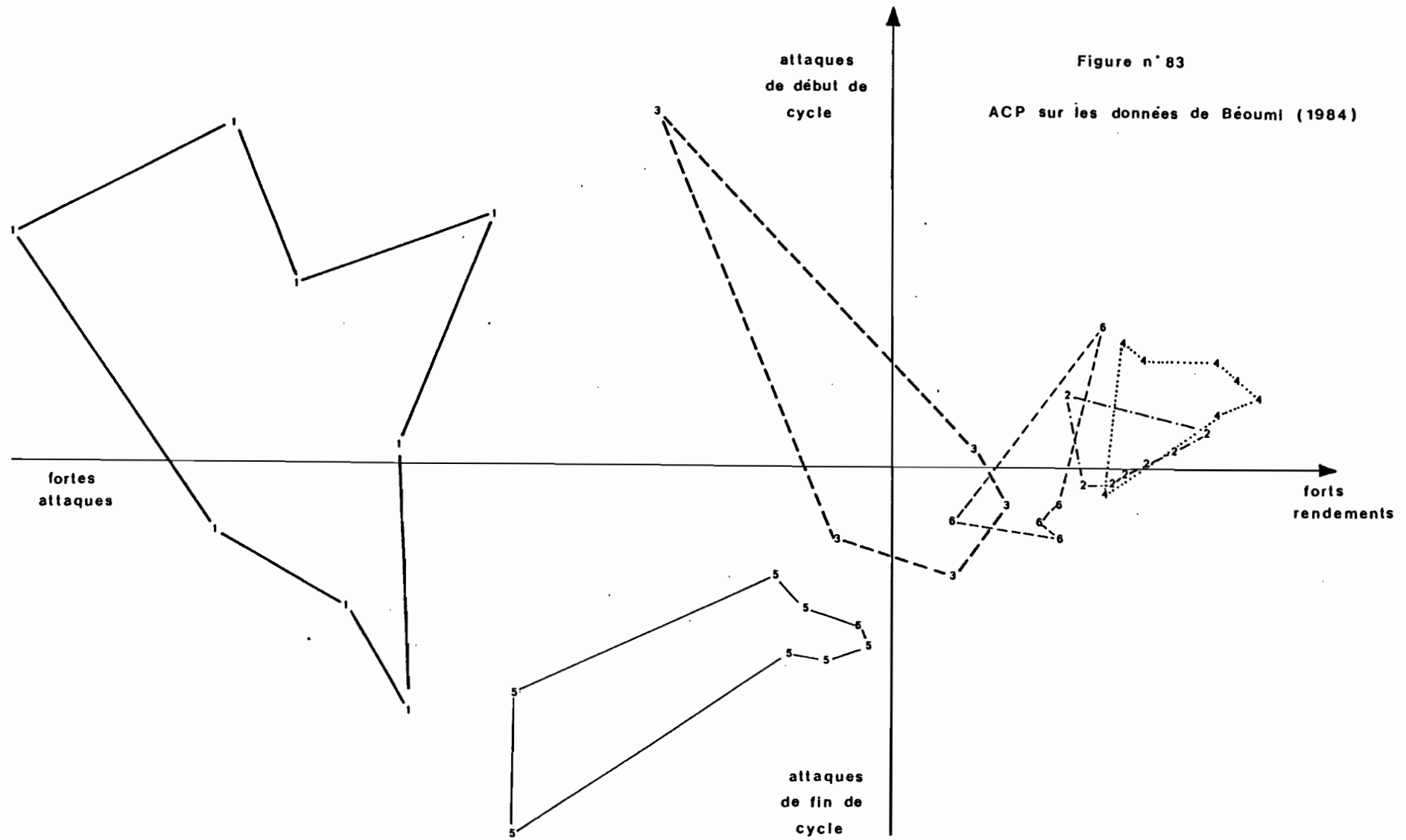
Ainsi, à Béoumi, les trois traitements les plus efficaces (n° 4 : Endosulfan dans le cornet, n° 2 et n° 6 : Deltaméthrine en début de cycle) donnent des résultats très homogènes : les points sont bien groupés sur le graphique. Par contre, dans le cas du traitement n° 3 (Endosulfan liquide) un point se situe très en dehors du nuage formé par les 5 autres : la parcelle correspondante, caractérisée par une forte attaque de début de cycle et un faible rendement, réagit donc très différemment des autres au même traitement insecticide. De même, les parcelles ayant reçu le traitement n° 5 (Phoxime granulés) constituent deux groupes très différents, avec, en particulier, deux parcelles à très faible rendement. Ces deux derniers traitements seraient donc à confirmer.

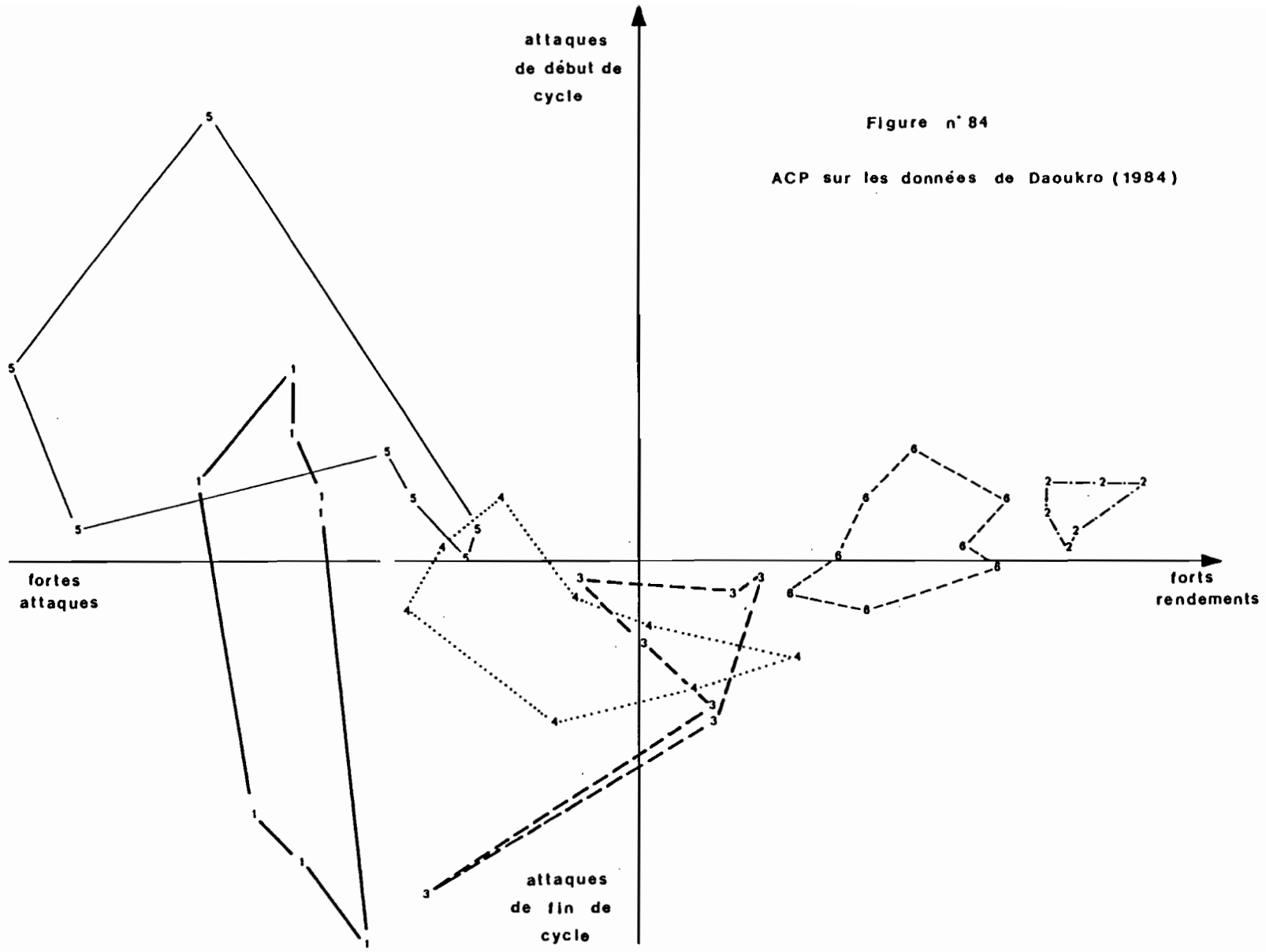
A Gohitafla, alors que les traitements n° 2 et n° 6 (Deltaméthrine) donnent des résultats très homogènes, on note, pour le traitement n° 5 (Carbofuran), une parcelle très différente des autres, caractérisée par un faible rendement. Si le traitement n° 4 (Phoxime) fournit des résultats encore plus hétérogènes, c'est le traitement n° 3 (Deltaméthrine à 60 et 75 JAL) qui fournit le nuage le plus étalé : on y distingue nettement deux groupes de parcelles : 5 parcelles assez groupées, avec des attaques essentiellement en début de cycle mais un rendement relativement correct, et trois parcelles à très faible rendement et beaucoup plus dispersées sur le graphique. On notera d'ailleurs l'extrême variabilité des parcelles du témoin non-traité (n° 1) qui s'explique, d'une part, par un

Figure n°82

ACP sur les données de Gohitafia (1984)







échantillonnage assez mauvais lié à des attaques relativement faibles, et sans doute, d'autre part, par une hétérogénéité importante au niveau du sol (termitières).

Enfin, à Daoukro, on retrouve la qualité des traitements à la Deltaméthrine (n° 2 et n° 6) qui permet d'affirmer sans conteste l'efficacité de cet insecticide en épandage de début de cycle. Le traitement n° 3 (Cyperméthrine) apparaît assez efficace, eu égard à la très faible dose utilisée, sur toutes les parcelles sauf une qui est en fait à l'origine du faible rendement moyen obtenu. Les résultats obtenus avec le Phoxime sont ici encore assez hétérogènes, mais ce sont surtout les parcelles ayant reçu le traitement au Chlorpyrifos-éthyl (n° 5) qui apparaissent très dispersées, 3 parcelles étant caractérisées par de très fortes attaques de début de cycle et un très faible rendement. Le témoin non-traité (n° 1) fournit un nuage assez regroupé, ce qui traduit un échantillonnage de qualité, qui s'explique par le très fort niveau d'attaque.

Ce type d'analyse est donc fort intéressant. Il permet de distinguer les traitements dont l'efficacité est régulière, quelque soient les conditions d'attaque et ceux qui fournissent par contre des résultats très hétérogènes. On peut alors interpréter ces derniers comme la conséquence d'un "décrochement" de l'efficacité du produit dès que l'attaque devient plus virulente, ou bien comme celle d'un épandage hétérogène (ce qui peut être le cas des granulés dont le dosage peut varier en fonction du nombre de plants par ligne, ou surtout du "coup de main" de l'opérateur), ou enfin comme étant dus à des hétérogénéités non prises en compte telles que les termitières.

CONCLUSION

L'usage des pesticides pour lutter contre les ravageurs des cultures vivrières des pays tropicaux est assez souvent déconseillé dans la littérature. Ainsi, Girling (1980), à propos d'Eldana saccharina sur maïs au Ghana écrivait : "Chemical control is not economical for subsistence farmers, can be dangerous if attempted by inexperienced people, and if wrongly timed could interfere with the only effective form of natural control present, the removal of eggs by predators, and make the situation worse. For this reason it seems undesirable to encourage the use of insecticides e.g by government subsidy (...) Only the développement and use of maize varieties resistant to stemborers appears to hold any promise".

De même Lawani (1982) indiquait : "Chemical control of some borers is unusually laborious because of the necessity for precise placement except when systemic insecticides are used. Duerden (1953), for example, reported that to control Busseola fusca (Fuller) and Chilo zonellus (Swinh.) it was desirable to deposit the insecticide inside the funnel of the developing plant because most larvae move through this region during some part of their life cycles. This implies that hand application is almost a necessity. Once the larva has bored into the stem it is protected from normal insecticides. Consequently, the insecticide would have to be applied before the downward migration of larvae commenced. The period between the emergence of the crop and this migration is short and timing is critical. However, hand application of insecticides to large areas is a slow and laborious process, and Duerden (1953) concludes that chemical control of B. fusca and C. zonellus could not be recommended". Bowden (1976) évoquant la lutte chimique contre Sesamia botanophaga sur maïs écrivait, sans autre précision, que ce choix "has many problems" et se prononçait pour la recherche de variétés résistantes qui avait été presque entièrement ignorée ("almost entirely ignored") jusqu'à cette époque.

Nous reviendrons sur l'aspect économique ultérieurement (conclusion générale). La sélection de variétés résistantes est, ainsi que nous l'indiquions en introduction, la voie à priori la plus intéressante, mais nous avons vu combien elle avait été peu empruntée jusqu'à ce jour en Côte d'Ivoire, et que le petit bout de chemin parcouru avait abouti à un échec : ce qui souligne qu'il s'agit là d'une recherche qui risque de n'aboutir qu'assez lentement. Or les problèmes existent actuellement, concrètement, et il est nécessaire de leur trouver une solution, même temporaire.

La lutte chimique est cette solution : nos essais ont mis en évidence des produits très efficaces, peu toxiques pour l'homme : les pyréthrines. Un autre produit, le carbofuran en granulés, à toxicité dermale très faible, a donné également de bons résultats mais à une dose bien supérieure à celle dont nous faisons état en introduction. L'Endosulfan a montré une efficacité remarquable en granulés, mais à une dose d'emploi excessive : la formulation, très dense, du produit qui nous avait été fourni, ne permettait pas un épandage à faible dose : ce produit était, en effet, importé d'Europe, où la dose d'emploi est de 1250g MA/ha. Toutefois, il peut être utilisé efficacement à dose bien plus faible contre Busseola fusca : à 300g MA/ha, selon Walker (1983), il permettrait un contrôle efficace

durant 8 semaines. Il serait même possible, selon un manuel de la société Hoechst distribué en Afrique du sud, de descendre à 30 à 40g de MA/ha pour une densité de 25 000 à 30 000 plants/ha en application manuelle, ce traitement étant renouvelé une fois.

Certains appareils à dos pour épandage de microgranulés permettent aujourd'hui de traiter plusieurs rangs à la fois, ce qui réduit considérablement le handicap lié à la durée d'épandage. Ces appareils, toutefois, semblent assez onéreux.

Dans l'attente d'autres méthodes de lutte, il est donc aujourd'hui possible d'enrayer les attaques de foreurs des tiges, et d'augmenter de façon substantielle la production de maïs dans les zones attaquées. Les essais sont, certes, à poursuivre, pour élargir la gamme des produits efficaces, préciser les doses pour l'Endosulfan... Mais les résultats obtenus permettent d'ores et déjà au paysan de n'être plus totalement désarmé devant une pression parasitaire, qui, nous l'avons dit en première partie, interdisait pratiquement jusqu'à ce jour la culture du maïs en cycle unique dans le centre-sud de la zone des savanes. Il demeure toutefois le problème non résolu de Mussidia nigrivenella Rag, foreur de l'épi, mais nous verrons dans la prochaine partie que, par bonheur, cet insecte ne représente pas en général un danger important dans la zone des savanes de Côte d'Ivoire.

CINQUIEME PARTIE :

ASPECTS QUANTITATIFS DE LA RELATION PLANTE-INSECTE

INTRODUCTION

La relation plante-insecte se situe au coeur des préoccupations de l'entomologiste agricole. Très complexe, comme tout système impliquant des organismes biologiques, on peut la décomposer en quatre domaines d'étude : les relations éthologiques, les relations physiologiques, les relations évolutives et les relations quantitatives.

- les relations éthologiques

Elles concernent l'étude de l'influence de la plante sur le comportement de l'insecte. La morphologie de la plante, son stade de développement, certaines substances chimiques qu'elle contient et qu'elle diffuse éventuellement sont autant de facteurs agissant sur le comportement de l'insecte et sur ses modalités d'attaque de la plante. Ainsi, il a pu être mis en évidence que des substances chimiques volatiles émanant du feuillage du maïs avaient un rôle dans l'orientation des adultes d'Ostrinia nubilalis, pyrale foreuse du maïs en Europe et aux Etats-Unis (Moore, 1928). Dans le cas d'Heliothis zea, qui attaque les épis de maïs aux Etats-Unis, c'est la longueur d'onde et l'intensité de la lumière reflétée par le feuillage qui oriente les femelles adultes cherchant à pondre (Callahan, 1957a). Une certaine villosité du substrat est nécessaire en outre pour déclencher la ponte d'Heliothis zea (Callahan, 1957b).

En Afrique, les femelles de Busseola fusca de la génération diapausante préfèrent déposer leur oeufs sur des plants de maïs plus grands, alors que la première génération de papillons choisira les plants de maïs plus jeunes (Harris, 1962). En Côte d'Ivoire, le comportement de ponte d'Eldana saccharina diffère suivant que l'attaque a lieu sur des plants jeunes ou sur des plants âgés.

- les relations physiologiques

L'insecte perturbe la physiologie de la plante ou de la culture et peut induire des phénomènes de compensation. Ainsi Busseola fusca, détruisant le méristème des plants de maïs peut provoquer leur tallage (Usua, 1968). Ces mécanismes de compensation présentent également une grande importance dans les relations quantitatives plante-insecte et ils seront examinés plus en détail ci-après.

La plante, pour sa part, peut modifier la physiologie de l'insecte. La composition chimique des substances végétales consommées par l'insecte influe sur le développement de l'insecte, et sur sa fécondité (Grison, 1958). Le DIMBOA, facteur de résistance à la pyrale du maïs Ostrinia nubilalis est à la fois répulsif et inhibiteur de la croissance (Beck, 1965).

Il en est de même de la maysin, un composé que l'on rencontre dans les soies du maïs, qui inhibe la croissance d'Heliothis zea et accroît sa mortalité (Henson, 1984). Le déclenchement de la diapause (ou la quiescence) chez Busseola fusca est induit par le dessèchement du pied de maïs : ainsi, l'élevage de B. fusca sur du maïs vert n'entraîne pas de diapause (Smithers, 1960).

- Les relations évolutives

La co-évolution des insectes et des plantes, conduisant à une spécialisation plus ou moins grande des insectes pour la prise de nourriture est un exemple de ce type de relation. Cette étude fait appel, en partie, aux relations chimiques entre plantes et insectes, puisque la sélection de la plante-hôte est souvent liée à certaines substances "secondaires" des plantes (Fraenkel, 1969).

- Les relations quantitatives

L'étude de ces relations est plus spécifiquement du domaine de l'entomologie agricole. Elle vise à relier l'attaque des insectes à la productivité des plantes, et fait l'objet du travail détaillé ci-dessous pour le cas des foreurs du maïs en Côte d'Ivoire.

Chacune de ces facettes de la relation plante-insecte représente un vaste champ de recherches. La complexité des phénomènes est en outre accrue par l'influence de facteurs externes qui peuvent venir moduler les interactions plante-insecte : ainsi, les capacités de compensation des plantes ou des cultures dépendent étroitement des facteurs climatiques. Il en va de même des relations éthologiques (Saxena, 1978) et des relations quantitatives.

C'est donc, bien souvent, d'une relation climat-plante-insecte dont il faudrait parler.

L'étude que nous avons entreprise visait à examiner, en diverses localisations, l'impact des foreurs du maïs sur le rendement de la culture et comment certaines composantes du rendement étaient affectées en fonction des modalités d'attaque des insectes.

CHAPITRE 1L'IMPACT DES FOREURS SUR LE RENDEMENT DU MAIS EN COTE D'IVOIRE CENTRALE.1. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LA RELATION ATTAQUE-RENDEMENT1.1. La notion de compensation ou croissance compensatrice

La compensation ou croissance compensatrice est l'aptitude d'une plante ou d'une culture à réduire l'impact de l'attaque sur le rendement par une croissance appropriée.

C'est donc un mode d'expression de la tolérance aux attaques d'insectes.

C'est un phénomène que l'on rencontre très souvent dans les relations plante-insecte, et qui peut s'expliquer, selon R. Gardner et K.E. Fletcher (1974) par quatre grande processus qui interviennent isolément ou en combinaison.

1.1.1. La compétition pour l'espace entre les plantes ou les organes diminue :

Lorsque l'attaque a lieu suffisamment tôt dans le cycle de culture, et aboutit à la mort des plantules, les plantes survivantes, par exemple dans le cas des céréales, croissent davantage, et ont plus de tiges fertiles qu'à la normale. Il peut en être de même sur maïs : Harris (1962) notait une régression significative du poids moyen de l'épi en fonction de la diminution de la densité de plants consécutive à une attaque de Busseola fusca au Nigeria. Ceci signifiait que la diminution du nombre de pieds se traduisait par une augmentation du poids de l'épi. Harris en concluait donc qu'une certaine compensation était possible du moins lorsque la fertilité du sol n'était pas un facteur limitant. Il indiquait toutefois qu'il était peu probable qu'une telle compensation se produise en milieu paysan, en raison de la faible densité au semis et de la fertilité réduite des sols.

Des constatations similaires ont été faites sur la betterave à sucre où des suppressions de plantules n'avaient d'incidence sur le rendement qu'à partir de 50 % de plantules arrachées.

Ce type de compensation retarde habituellement la maturité, mais parfois de façon insignifiante si le délai entre la période du dégât et la maturité de la plante est important.

Il est donc possible, dans certaines limites, de réduire l'impact des insectes en adoptant la densité de semis maximale qui permet, en conditions de culture non attaquée, le meilleur rendement. Mais une telle solution peut parfois poser des problèmes si l'attaque par les insectes est peu importante et que, par ailleurs, la plante souffre de manque d'eau ou d'éléments nutritifs : une densité plus faible pourrait alors donner de meilleurs rendements.

1.1.2. Les organes attaqués peuvent fournir plus d'éléments nutritifs que ce dont les organes à récolter ont besoin

Ceci peut arriver lorsque "la source" (en termes de physiologie végétale, c'est-à-dire l'organe qui fournit les nutriments) peut approvisionner "les puits" (les organes qui reçoivent les éléments nutritifs) plus qu'il n'est nécessaire. Par exemple, Hussey et Parr (1963) ont montré que les populations de l'acarien Tetranychus urticae n'affectaient pas le rendement du concombre jusqu'à ce qu'environ 30 % de la surface foliaire ait été détruite. Greene (1971) a trouvé qu'il fallait supprimer jusqu'à 66 % des feuilles de haricot avant la floraison pour pouvoir obtenir une réduction significative en rendement. Pendant la floraison ce pourcentage tombait à 33 %. Urbanus proteus (Lepidoptera, HesperIIDae), qui se nourrit sur ce haricot uniquement au niveau des feuilles, doit donc avoir consommé entre un tiers et deux-tiers des feuilles pour que des mesures de contrôle du ravageur se traduisent par un rendement à la récolte significativement supérieur à celui de parcelles témoins.

1.1.3. Les organes à récolter sont attaqués, mais sont normalement produits en excès

C'est le contraire du processus précédent : la production de puits est supérieure à ce que les sources peuvent approvisionner. Cette situation est

rencontrée communément avec les plantes à croissance indéfinie, comme de nombreuses variétés de cotonnier : chaque feuille des rameaux sympodiaux est accompagnée d'un bouton floral qui a besoin de bien plus d'éléments nutritifs qu'une feuille ne peut fournir pour produire une capsule. Donc, même sans attaque d'insectes, une part importante de boutons floraux tombe (c'est le "shedding physiologique"). Lorsque l'attaque d'insecte aboutit à une chute de boutons floraux qui n'excède pas ce qu'aurait donné le shedding physiologique, cette attaque n'a pas d'influence sur le rendement, puisque, en tout état de cause, une plante non attaquée aurait perdu la même quantité de boutons floraux. L'attaque d'insecte précoce, si elle n'est pas trop importante, aboutit simplement à retarder le moment où est atteint le nombre de boutons floraux que la plante pourra faire évoluer en capsules. On peut même observer dans ce cas une augmentation de rendement par rapport à des parcelles non attaquées ; ceci pourrait s'expliquer par le fait que le volume de production est liée à la surface foliaire : plus la formation de la récolte est longue plus la surface foliaire disponible est grande et plus le nombre de capsules que la plante pourra porter sera important (Mac Kinlay et Geering, 1957 ; Coaker 1957 ; Ingram, 1969).

1.1.4. Les organes attaqués ne sont pas essentiels pour la formation du rendement

Les organes attaqués peuvent être en compétition avec des organes à récolter pour les ressources de la plante, et le rendement peut éventuellement être accru par une attaque d'insectes. Ainsi des larves de Plutella xylostella peuvent, à certaines densités, accroître le rendement de navets (Taylor et Bardner, 1968) ; en effet, les chenilles se nourrissent préférentiellement sur les jeunes feuilles, à qui évite la chute des feuilles âgées et la perte de matière sèche que ce shedding aurait provoqué est ainsi évité. De même, le défeuillage artificiel de plants de pommes de terre, simulant l'attaque de Leptinotarsa decemlineata peut accroître le rendement de 26 % (Skurhavy, 1968). L'action des insectes sur la croissance apicale peut produire une augmentation de rendement : de faibles populations d'Aphis fabae sur haricot sont ainsi susceptibles d'augmenter le rendement, probablement en diminuant la croissance apicale (Banks et Macaulay, 1967) alors que Kuznetsov et Bebin (1965) ont montré que la suppression de l'extrémité apicale de plants de haricots au moment où la graine commence à changer de couleur accroissait le rendement en haricots, phénomène comparable à la taille des arbres fruitiers.

1.2. La courbe de réponse généralisée

Selon Bardner et Fletcher (1974), malgré la complexité et la diversité des interactions plante-insecte, les relations quantitatives entre l'intensité de l'infestation et son effet sur le rendement se conforment habituellement à une partie de la "courbe de réponse généralisée" décrite par Tammes (1961) (Figure n° 85).

C'est une courbe à allure sigmoïde, voisine de celles que l'on rencontre fréquemment dans les phénomènes biologiques (par exemple, la courbe reliant la mortalité d'un insecte après applications de doses croissantes d'insecticides) (Finney, 1971) ou bien en économie, ainsi que le souligne Woods (1974), avec la courbe des coûts marginaux (Figure n° 86).

La courbe reliant le rendement au nombre d'insectes ou de dégâts (Figure n° 85) peut se décomposer en cinq tronçons :

- un niveau supérieur, où le rendement n'est pas affecté lorsque s'accroissent les attaques. Les phénomènes de tolérance, ou de compensation interviennent alors et annihilent l'effet des insectes sur la production.

- lorsque l'attaque d'insectes devient sévère, l'influence sur le rendement apparaît et la courbe s'infléchit. Le point où le plateau supérieur commence à s'incurver est appelé le "niveau-seuil" (Threshold-level en anglais). Ce point peut parfois coïncider avec le niveau de dégâts économique avec lequel il est souvent confondu, mais contrairement à ce dernier, il est totalement indépendant de considérations économiques. Deux exemples de ce niveau-seuil ont déjà été cités : celui des betteraves à sucre dont le rendement n'est pas affecté en deçà de 50 % de jeunes plantules détruites (Jones et al, 1955) ; celui des concombres où le rendement n'est affecté par les attaques de Tetranychus urticae qu'au delà de 30 % de la surface foliaire détruite.

Cette partie de la courbe correspond à des niveaux d'attaque où les phénomènes de compensation deviennent de moins en moins efficaces ; le degré de courbure sera plus accentué et la transition avec le tronçon suivant de la courbe sera plus abrupte en cas de compensation faible ou nulle.

Figure n°85

La Courbe de Réponse généralisée

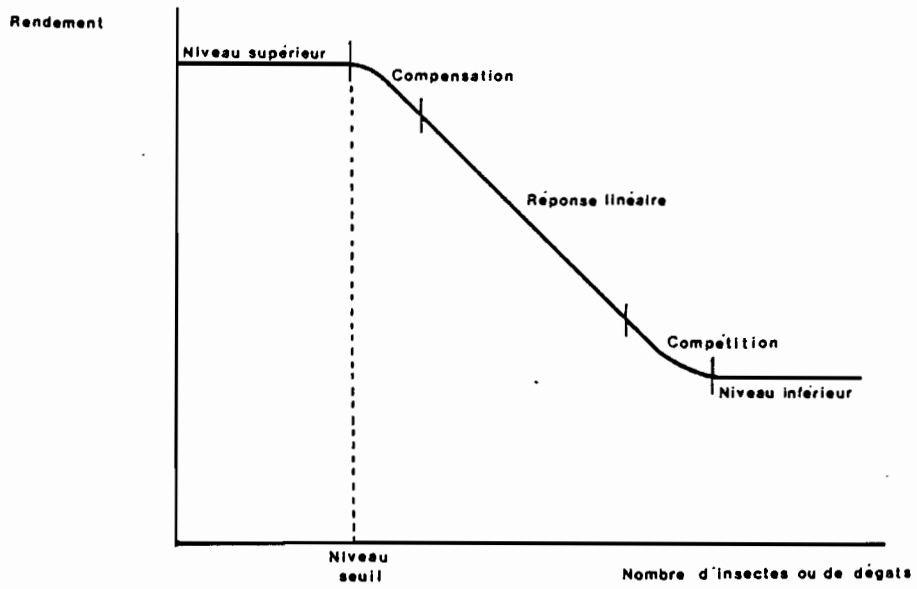
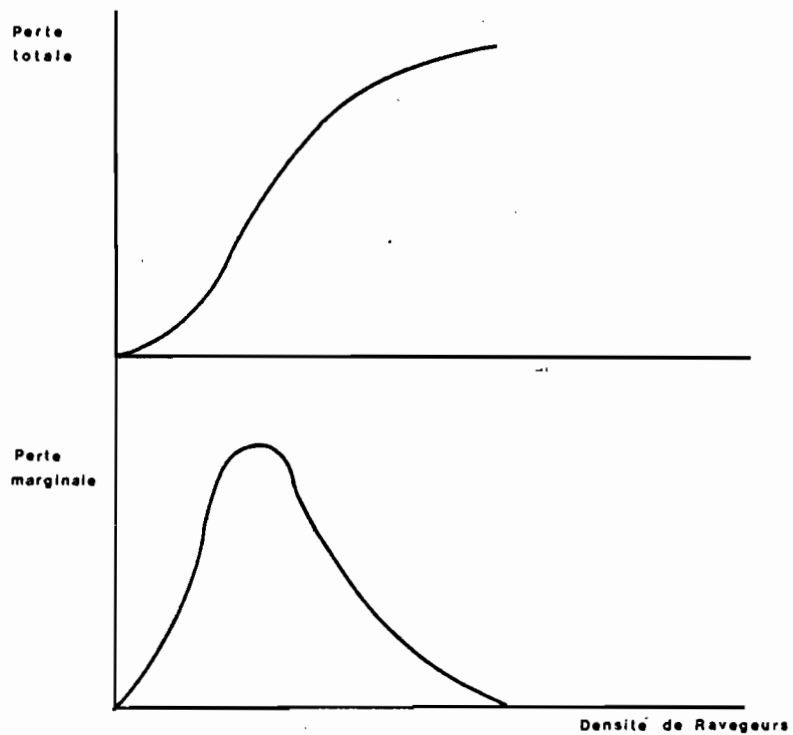


Figure n° 86

La Relation Densité de Ravageurs - Pertes de Rendement



- la partie médiane de la courbe sigmoïde peut, souvent, être assimilée à une droite. Walker, par exemple, en 1960, trouve une telle relation linéaire entre le pourcentage de pieds attaqués par Busseola fusca en Afrique de l'Est et le rendement de la culture. Dans le cas où une légère courbe est décelée, des transformations des variables permettent d'aboutir à un ajustement linéaire.

- le tronçon suivant indique que l'effet marginal de chaque insecte supplémentaire sur le rendement décroît très rapidement. Ce peut être le cas lorsque les dégâts les plus graves ont déjà eu lieu et que les attaques supplémentaires ont une influence bien moindre sur le rendement ; la compétition entre insectes peut également expliquer ce phénomène, les insectes supplémentaires devant se nourrir sur des organes affectant moins le rendement. C'est souvent le cas, par exemple, des pucerons, pour lesquels la chute de rendement est souvent proportionnelle au logarithme du nombre d'aphides.

- la dernière partie de la courbe traduit l'absence d'impact sur le rendement lorsque le niveau des attaques augmente. C'est le cas, par exemple, lorsque la compétition pousse les insectes à se nourrir sur des organes qui n'ont pas d'influence sur le rendement.

La courbe représentée par la figure n° 85 et que nous venons de détailler traduit en fait une technique d'estimation de la relation rendement-attaque que l'on peut qualifier de "méthode du point critique" ou plus généralement "méthode du point unique" (Teng, 1979). Elle consiste à relier la perte de rendement à l'attaque estimée par un seul échantillonnage au cours du cycle de la culture. L'époque d'échantillonnage peut correspondre à un moment que l'on considère comme essentiel pour la constitution du rendement, d'où la notion de "point critique". Mais, habituellement, il peut s'agir d'un moment quelconque du cycle et le qualificatif de "point unique" semble donc mieux approprié.

1.3. Les méthodes des "points multiples" et de "la surface sous la courbe"

De nombreux auteurs se sont aperçus que l'impact des attaques d'insectes sur le rendement pouvait varier très sensiblement avec l'époque d'attaque. Ainsi, dans le cas du foreur du maïs Zea diatraea grandiosella Dyar, Arbuthnot et al (1958)

ont réalisé des infestations artificielles à diverses époques du cycle : les infestations les plus précoces se sont traduites par une perte de rendement plus importante (tableau n° 31) et la présence de coeurs-morts.

Tableau n° 31

Date d'infestation en jours après semis	Nombre de larves par tige	Chute de rendement en %
36	2	33
	5	71
46	2	21
	5	21

De même, Levine et al (1984) étudiant, en infestation naturelle, les plants attaqués à divers stades de croissance du maïs par Papaipema nebris (Lepidoptères, Noctuidae), montrent que le pourcentage d'épis récoltés ainsi que le rendement varient suivant l'époque d'attaque (Tableau n° 32) - (La population d'insectes présente n'est pas estimée : seule la présence ou l'absence d'attaque à chaque stade est notée).

Tableau n° 32

Stade d'attaque de la plante en nombre de feuilles par plant	2	3	4	5	6	7	8	non attaqué
Pourcentage d'épis récoltables produits	21,8	37,4	29,0	72,6	76,0	86,8	74,5	95,4
Pourcentage de rendement en grains par rapport aux plants non attaqués	15,5	28,5	20,5	49,1	59,2	79,3	60,4	100

Pour Ostrinia nubilalis, Deay et Coll (1949) ont constaté que la perte en rendement était plus importante lorsque l'attaque était plus précoce (tableau n° 33).

Tableau n° 33

Eclosion des oeufs de <u>O. nubilalis</u> en fonction de la date d'apparition des soies	Reduction de rendement en % par rapport à une parcelle non attaquée
3 jours avant	3,47
5 jours avant	3,54
9 jours avant	4,03

Ces quelques exemples concernant les foreurs du maïs montrent que la relation qui lie l'attaque à la production peut être considérablement modifiée suivant la date d'attaque. La méthode du "point unique" ne peut donc donner une idée correcte de l'impact de l'insecte que dans le cas particulier où l'attaque est localisée dans le temps : par exemple avec une période de ponte très précise durant le cycle de culture et une seule génération dans le cycle. Et, même dans ces conditions, la date de relevé doit être bien précisée car les populations d'insectes peuvent quitter la plante à un certain moment du cycle : ainsi Deay et coll (1949) constatèrent qu'une partie de la population d'Ostrinia nubilalis quittait les plants de maïs lorsque le cycle progressait, et précisaient que les pertes de rendement estimées étaient déterminées sur la base des populations avant que les borers ne disparaissent des plants.

La méthode du "point unique" aboutit parfois à des conclusions très différentes suivant le moment du cycle où ont travaillé les auteurs, et les comparaisons deviennent délicates : ainsi Koehler et Pimentel (1973), étudiant les pertes de rendement dues au charançon de la luzerne aux Etats-Unis, aboutissent à un niveau de dégâts économique de 56 larves par pied, alors que Wilson (1971) situait ce niveau à 1 à 3 larves par tige et Thomas et al (1972) à 0,5 à 1 larve par tige. Koehler et Pimentel précisaient toutefois que la sensibilité de la luzerne devait varier suivant le stade phénologique de la plante.

Dans la plupart des cas, la méthode du "point unique" se révèle donc inadéquate et, si l'on veut saisir précisément l'impact des insectes sur le rendement, il devient nécessaire de tenir compte de l'évolution des attaques au cours du cycle. Les méthodes d'analyse utilisées alors sont des techniques de régression multiple, qui relient la perte en rendement aux attaques ayant lieu à divers moments dans le cycle.

Relativement peu utilisées en Entomologie, ces méthodes sont, par contre, assez employées en phytopathologie (Teng, 1979 et 1980).

La méthode des "points multiples" consiste à corrélérer la chute de rendement avec le nombre de ravageurs ou l'intensité de l'attaque à divers moments du cycle. Par exemple, Burleigh et al's (1972), étudiant l'impact sur le rendement du blé de la rouille Puccinia recondita ont trouvé que l'attaque au stade grain laitex était particulièrement bien corrélée à la perte en rendement, pouvant expliquer 64 % de la variation de rendement, mais que si l'on prenait en compte les attaques à d'autres périodes du cycle, 79 % de la variation du rendement était expliquée par la régression multiple. Donc, même dans ce cas où un "point critique" très net existe, la méthode des points multiples s'avère meilleure.

Une deuxième méthode qui peut améliorer la technique du "point unique" est parfois utilisée : il s'agit de la méthode de "la surface sous la courbe" ("area under curve"). Cette technique, suggérée par Van Der Plank (1963), consiste à tracer le graphique de l'évolution des attaques et de corrélérer la chute de rendement avec la surface délimitée entre la courbe et l'axe des abscisses. Cette technique qui peut, en certaines circonstances, donner des résultats intéressants (Buchenau, 1975), est, en général, criticable. En effet, si elle permet de distinguer deux attaques de même intensité à un moment donné du cycle, mais ayant une surface sous la courbe différente, elle ne tient toutefois par compte de la date d'attaque ; des attaques précoces faibles peuvent ainsi aboutir à de mêmes surfaces que des attaques tardives plus fortes alors que l'impact sur le rendement est totalement différent (James, 1972 et 1974).

L'impact des insectes sur le rendement peut donc être appréhendé à l'aide de diverses techniques de régression. La méthode du "point critique", dans les cas où elle peut être utilisée, présente l'avantage de pouvoir être figurée graphiquement. Les méthodes de régression multiple, quant à elles, permettent en général, d'expliquer de façon plus exacte, plus complète, la relation qui lie l'attaque à la chute de rendement.

2. LE CAS DES FOREURS DU MAIS EN COTE D'IVOIRE CENTRALE

2.1. Les méthodes utilisées

2.1.1. Pour l'obtention des résultats

Diverses méthodes peuvent être employées pour déterminer l'impact des insectes sur le rendement :

- Une première méthode consiste à étudier des plants ou des parcelles en infestation naturelle. C'est, par exemple, la méthode utilisée par Levine et Al (voir paragraphe 1.C du présent chapitre) qui comparent des plants attaqués et des plants non attaqués par Papaipema nebris. Cette méthode est souvent assez délicate d'emploi, en particulier lorsque les insectes sont attirés par les plants les plus gros, comme c'est le cas pour la génération diapausante de Busseola fusca (Harris, 1962). Les productions des plants attaqués peuvent alors être supérieures à celles des plants non attaqués : c'est ce que Harris (1962) a observé en un de ses points d'observation, où le rendement des tiges de sorgho attaquées était supérieur à celui des tiges non attaquées et cela de façon hautement significative : l'examen des plants devait révéler que l'attaque était d'autant plus faible que le pied était plus fin et à l'origine d'une plus faible production.

- Une deuxième méthode consiste à utiliser des pesticides en vue d'obtenir des densités variées de ravageurs. Cette méthode est intéressante à condition d'éviter deux écueils : le premier est l'utilisation d'insecticides ayant un impact en eux-mêmes sur le rendement : soit parce qu'ils sont phytotoxiques, soit, au contraire, parce qu'il ont un effet stimulant sur la croissance et la production ; le second est de détruire d'autres ravageurs que ceux visés et de fausser de ce fait la relation liant l'insecte étudié au rendement.

- Une troisième méthode consiste en des infestations artificielles, soit en éliminant l'infestation naturelle, comme le fait Usua (1968), soit en protégeant les plants par des cages, des filets.... Cette méthode a aussi ses défauts, soit parce que les cages réduisent la lumière incidente et perturbent donc la croissance de la plante, soit parce que les insectes placés sur une plante se disperseront,

soit parce que, sur de grandes parcelles ou pour certains insectes l'élimination de l'infestation naturelle est difficile.

- D'autres méthodes enfin peuvent être utilisées pour accroître artificiellement l'infestation de certaines parcelles en plaçant en bordure des variétés très sensibles ou encore pour diminuer artificiellement l'infestation en utilisant, par exemple, des pièges à phéromones. La simulation de dégâts en détruisant des feuilles, en endommageant les tiges... est également parfois employée.

Parmi ces diverses méthodes nous en avons employé deux :

Pour les insectes foreurs de la tige, des tests insecticides ont été entrepris qui ont permis de créer des situations de densités variées de ravageurs. Le risque d'impact sur d'autres ravageurs que les foreurs était inexistant, dans la mesure où les seuls insectes nuisibles au maïs autres que les foreurs et pouvant être atteints par les traitements sont les vecteurs du virus du streak. Or l'étude n'a révélé aucune différence dans le nombre de pieds attaqués par le streak dans les parcelles traitées ou non-traitées. Aucun des produits utilisés ne s'est révélé phytotoxique aux doses d'emploi, et aucun n'est connu pour avoir un effet stimulant sur la physiologie de la plante (avec quelques réserves toutefois pour le carbofuran qui semble avoir, en certains cas, sur riz irrigué, un effet sur la production supérieur à ce que la destruction des insectes ou des nématodes permettrait d'attendre ; mais dans le cas des essais utilisés pour l'analyse de la relation attaque-rendement les conditions étaient incomparables puisque le carbofuran était employé en localisation dans le cornet et non dans le sol, et à une dose bien plus faible que celle utilisée sur riz irrigué). La moyenne sur 10 tiges par parcelle était effectuée à chaque relevé pour estimer le niveau d'attaque, et le rendement était calculé d'après la production d'une ligne de 25 mètres.

Dans le cas des foreurs de l'épi, la méthode du test insecticide n'a pu être utilisée, car les traitements ont été inefficaces sur le principal ravageur de l'épi, Mussidia nigrivivella Rag. Nous avons donc comparé les pertes de poids en infestation naturelle. Ainsi que nous l'avons vu, cette méthode est délicate d'emploi, et, dans le cas présent, en particulier, les grains attaqués peuvent très bien être plus gros que des grains non attaqués. Cette situation cependant aura tendance à se produire surtout lorsque peu de grains sont attaqués. Notre méthode, qui consistait à faire la moyenne sur dix épis par parcelle permettait toutefois de limiter les cas où cette situation pouvait se produire. Nous avons, en outre, essayé de séparer les grains en deux catégories, gros et petits, et de

comparer les grains attaqués et non attaqués dans le groupe des petits d'une part et dans le groupe des gros d'autre part. Cette méthode n'a pas apporté d'amélioration importante par rapport à la simple comparaison grains attaqués-grains non attaqués, et nous y avons donc renoncé.

Le suivi des attaques de la tige a été effectué sur tout le cycle du maïs, à raison d'un échantillonnage tous les vingt jours : il y a donc eu un relevé au 20e jour après levée (20e JAL), puis des relevés aux 40e, 60e, 80e et 100e JAL. La récolte ayant lieu vers le 105e JAL.

Pour les foreurs de l'épi, une seule analyse a été effectuée, à la récolte : c'est en effet à ce moment-là que la perte de rendement due à ces foreurs aura atteint son maximum si le maïs est égrené et traité avant stockage.

2.1.2. Pour l'analyse des résultats

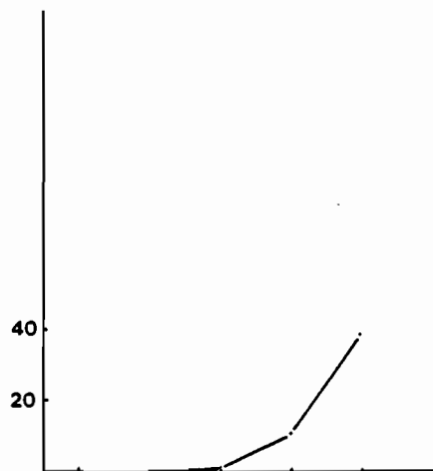
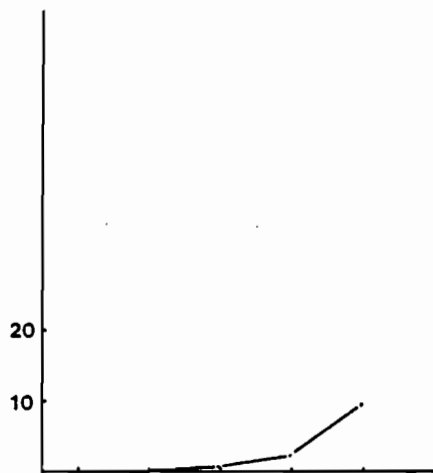
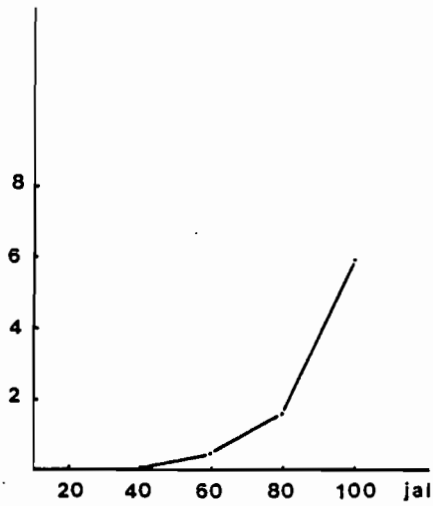
Les relations entre l'attaque et le rendement ont été étudiées à l'aide de techniques de régression simple ("point unique") ou multiple ("points multiples"). L'examen des nuages de points a conduit à envisager des régressions linéaires ou des régressions de type exponentiel ou logarithmique. Pour tester la qualité de chaque régression une analyse de variance a été entreprise, et le test de Durbin-Watson effectué. Ce test s'est révélé correct dans la très grande majorité des cas, ce qui traduit l'absence d'autocorrélation entre les résidus, et donc la validité des analyses réalisées.

2.2. Les modalités d'attaque

Les figures 87 et 88 indiquent l'évolution des attaques sur les parcelles non-traitées des divers points d'observation. On peut constater que les modalités rencontrées sont assez variées : entre une attaque précoce très forte à Daoukro et s'étendant sur tout le cycle et une attaque relativement faible à Bouaké, et limitée à la fin de cycle, on trouve le cas de Béoumi, où l'attaque augmente très régulièrement au cours du cycle, atteignant un niveau important en fin de cycle

Figure n°88

Evolution des attaques sur la parcelle non-traitée à Bouaké



et celui de Gohitafla où l'attaque, qui avoisine déjà un foreur par tige au 20e jour, se stabilise au 40e jour pour se développer à nouveau en fin de cycle. On peut donc considérer que l'on couvre une gamme assez large de situations avec ces quatre points, d'autant plus que l'action des traitements insecticides aboutit à créer de nouveaux ensembles attaque-rendement. Au total 204 parcelles sont utilisées dans l'analyse, chacune ayant sa propre évolution d'attaque, allant d'un niveau nul ou voisin de zéro dans les parcelles à traitement systématique au niveau atteint dans les parcelles non-traitées.

2.3. Résultats

2.3.1. Insectes foreurs de la tige

2.3.1.1. Analyse point par point

2.3.1.1.1. Le choix des meilleures dates de suivi

Pour chaque date de suivi, en chaque point d'observation, nous avons effectué les régressions simples du rendement en fonction des divers types d'attaque (total insectes, nombre de trous par tige et pourcentage d'entre-noeuds attaqués). Le tableau n° 34 indique le pourcentage de la variation de rendement qui peut être attribué à chaque régression simple, et la figure n° 89 donne une image graphique des pourcentages correspondant aux meilleures régressions globales sur tout le cycle.

On peut en tirer les constatations suivantes :

- Certaines dates d'observation ne permettent pas de détecter une relation significative entre les attaques et le rendement. C'est le cas, en particulier, des relevés du 100e jour après levée pour les insectes, qui donnent, pour sept régressions sur les huit effectuées, une corrélation non significative. Ceci s'explique, d'une part, par le départ d'insectes ayant achevé leur cycle de développement, et, d'autre part, par le fait que les traitements de début de cycle sont devenus inefficaces : certains insectes migrent donc du témoin vers ces parcelles qui donneront un rendement correct mais se retrouvent alors avec des populations d'insectes équivalentes à celles du témoin. A ce moment-là, proche de la récolte, ces attaques n'ont plus d'impact sensible sur le rendement. Par contre cette même date

Tableau n° 34

Pourcentage de la variation en rendement explicable par les attaques d'insectes foreurs de la tige

Type d'attaque	Lieu	Type de transformation de la variable expliquée	Pourcentage d'explication					
			Regression simple					Regression multiple
			20 JAL	40 JAL	60 JAL	80 JAL	100 JAL	
Total Insectes	Daoukro	Sans $y' = \log(y+1)$	12,1(S) 16,1(HS)	33,3(HS) 32,6(HS)	47,2(HS) 47,5(HS)	40,8(HS) 35,7(HS)	9,7(S) 0,1(NS)	64,1(HS) 59,4(HS)
	Béoumi	Sans $y' = \log(y+1)$	4,3(NS) 3,4(NS)	26,5(HS) 28,6(HS)	47,4(HS) 54,7(HS)	55,3(HS) 55,1(HS)	2,4(NS) 0,6(NS)	62,3(HS) 64,5(HS)
	Gohitafla	Sans $y' = \log(y+1)$	2,6(NS) 5,2(NS)	13,4(S) 20,4(HS)	19,8(HS) 26,0(HS)	23,5(HS) 26,4(HS)	3,1(NS) 3,2(NS)	38,9(HS) 50,2(HS)
	Bouaké	Sans $y' = \log(y+1)$	-	-	12,6(HS) 14,8(HS)	14,2(HS) 17,34(HS)	5,5(NS) 6,0(NS)	21,2(HS) 25,5(HS)
Nombre de Trous	Daoukro	Sans $y' = \log(y+1)$	-	30,6(HS) 44,9(HS)	44,6(HS) 51,5(HS)	52,6(HS) 50,5(HS)	50,4(HS) 37,0(HS)	63,5(HS) 66,9(HS)
	Béoumi	Sans $y' = \log(y+1)$	-	27,7(HS) 28,8(HS)	43,9(HS) 45,8(HS)	56,5(HS) 55,2(HS)	58,4(HS) 60,5(HS)	65,7(HS) 66,6(HS)
	Gohitafla	Sans $y' = \log(y+1)$	-	12,5(S) 20,2(HS)	18,5(HS) 31,3(HS)	16,3(HS) 18,3(HS)	6,9(NS) 8,6(S)	29,9(HS) 43,7(HS)
	Bouaké	Sans $y' = \log(y+1)$	-	-	6,8(S) 8,7(S)	12,0(HS) 14,7(HS)	6,0(NS) 6,7(S)	14,9(S) 18,3(HS)
pourcentage d'entre-nœuds attaqués	Daoukro	Sans $y' = \log(y+1)$	-	35,8(HS) 48,6(HS)	55,8(HS) 61,4(HS)	62,3(HS) 56,4(HS)	62,0(HS) 38,4(HS)	72,0(HS) 70,0(HS)
	Béoumi	Sans $y' = \log(y+1)$	-	33,7(HS) 36,6(HS)	57,2(HS) 58,0(HS)	59,0(HS) 56,9(HS)	67,7(HS) 61,2(HS)	73,3(HS) 69,8(HS)
	Gohitafla	Sans $y' = \log(y+1)$	-	15,0(HS) 26,2(HS)	17,3(HS) 24,5(HS)	22,5(HS) 26,1(HS)	8,6(S) 9,9(S)	31,5(HS) 43,4(HS)
	Bouaké	Sans $y' = \log(y+1)$	-	-	2,2(NS) 3,2(NS)	6,4(NS) 9,1(S)	8,3(S) 9,2(S)	10,3(NS) 13,2(S)

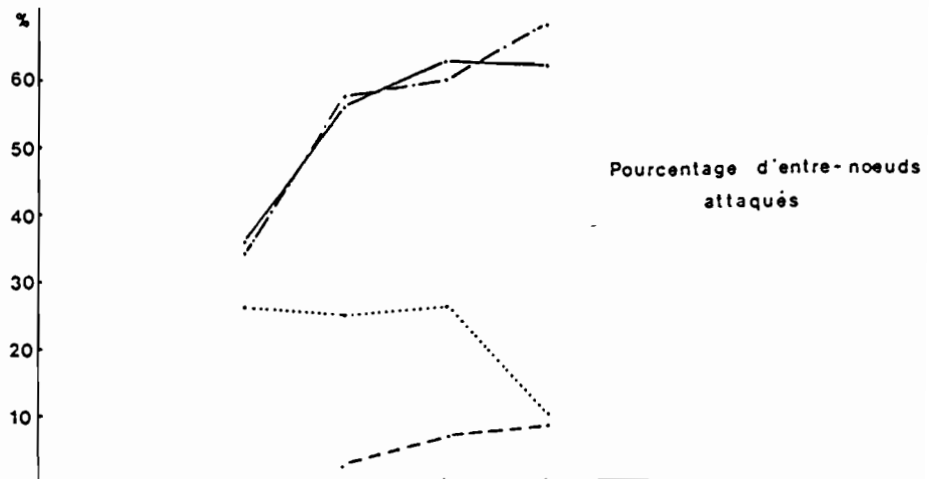
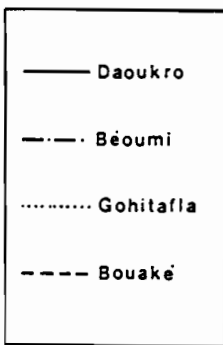
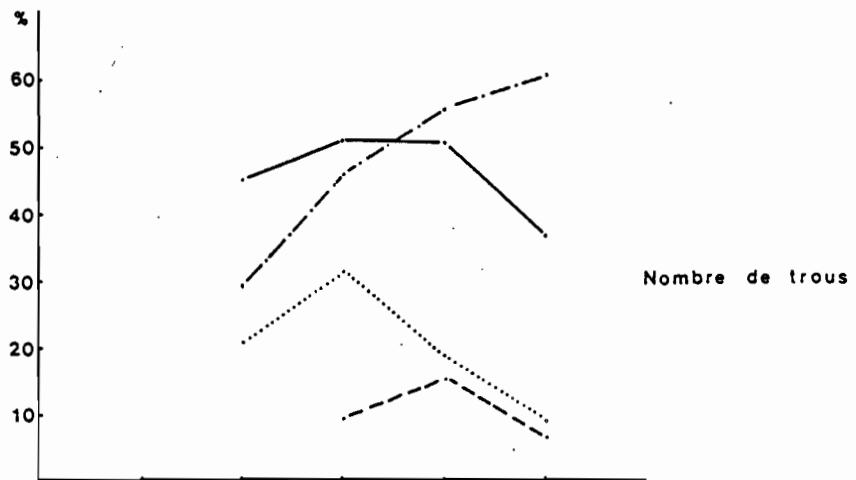
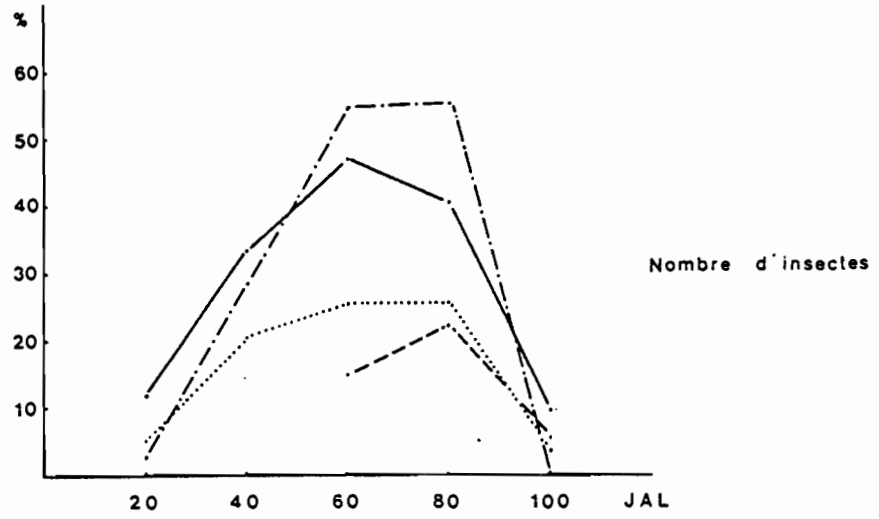
HS = hautement significatif

S = significatif

NS = non significatif

Figure n°89

Pourcentage de la variation en rendement explicable par les attaques d'insectes



de relevé peut rester intéressante pour les dégâts tels que le nombre de trous ou le pourcentage d'entre-noeuds attaqués : ceux-ci, en effet, n'ont pas le temps d'être trop modifiés par ces attaques très tardives ; en outre les insectes profitent en partie des orifices existant déjà sur la tige pour y pénétrer et n'augmentent donc pas nettement le niveau de dégâts des parcelles initialement moins attaquées.

La date du 20e jour après levée, qui ne peut être utilisée que pour les insectes présents, donne également des corrélations moins bonnes que d'autres dates, mais qui peuvent cependant être hautement significatives lorsque l'attaque de début de cycle est assez forte (Daoukro par exemple). Dans le cas d'attaque de début de cycle faibles, ce sont naturellement les attaques plus tardives qui ont un impact sur le rendement, celles du 20e jour étant noyées sous le flot des attaques ultérieures.

- Les relevés des 60e et 80e jours après la levée fournissent, en tous les points et pour tous les types d'attaque, de bonnes corrélations entre le rendement et le niveau d'attaque. Ce sont donc les dates qu'il faut retenir de préférence si l'on veut estimer la perte de rendement due aux attaques d'insectes avec un seul relevé durant le cycle.

- La régression linéaire donne de meilleurs résultats dans certains cas, la régression avec transformation logarithmique fournit parfois un meilleur ajustement. Les différences peuvent être parfois importantes : ainsi à Daoukro, au 100e jour, la régression linéaire du rendement sur le pourcentage d'entre-noeuds attaqués améliore de plus de 20 % l'explication de la variation par rapport à la transformation logarithmique. Aux 60e et 80e jours après la levée, on constate en général peu de différences entre les deux ajustements.

- La régression multiple, qui prend en compte les relevés des diverses dates, améliore de 3 à 24 % le pourcentage d'explication de la variation de rendement par rapport aux régressions simples. Lorsque l'attaque est bien localisée dans le temps, comme à Béoumi, la régression multiple apporte peu d'amélioration ; par contre, à Daoukro et Gohitafla, où l'attaque a eu lieu sur tout le cycle, l'ajustement par la régression multiple peut augmenter de plus de 20 % le pourcentage d'explication de la variation de rendement par rapport aux régressions simples.

2.3. 1.1.2. La comparaison des diverses courbes de régression

Les équations des diverses régressions sont indiquées dans les tableaux n° 35 et n° 36 ; les meilleures courbes de régression simple ont été représentées sur les figures 90, 91, et 92.

On peut en tirer diverses conclusions :

- La pente des courbes est d'autant plus forte que le relevé a lieu tôt dans le cycle. Ceci est logique puisque l'attaque augmentant au cours du cycle, on aura une même perte de rendement pour un nombre plus faible d'insectes en début de cycle.

- Dans la plupart des cas la chute de rendement par insecte est d'autant plus forte que le rendement d'une culture non-attaquée est meilleur. Ceci est particulièrement net pour la relation reliant le rendement au nombre de trous visibles. C'est également le cas pour le pourcentage d'entre-noeuds attaqués à l'exception du relevé de Bouaké du 100e JAL mais c'est un relevé peu significatif. Cela paraît moins évident pour le nombre d'insectes, mais on retrouve toutefois ce phénomène aux 40e et 80e JAL. Cette situation suggère que pour une attaque donnée le pourcentage de perte de rendement doit être relativement constant.

- Les équations de régression multiples révèlent des différences assez nettes entre les points d'observation quant à la part relative de l'attaque des différentes dates de suivi sur la perte de rendement. Mais, en outre, elles soulèvent un problème sur lequel nous reviendrons : certains coefficients de régression apparaissent d'un signe opposé à celui que la logique attendrait : on pourrait en conclure que les attaques d'insectes des dates concernées augmentent le rendement. Nous avons vu que de tels cas peuvent se produire, par exemple sur cotonnier (paragraphe 1.A.3). En réalité, ce n'est pas le cas ici : en effet, on peut constater que de tels signes positifs apparaissent, d'une part, pour les relevés d'insectes du 100e jour qui donnent une corrélation non significative avec le rendement lors des régressions simples. Dans ce cas, il est donc simplement préférable d'éliminer ce relevé de la régression multiple ; ceci ne se traduit effectivement par aucune modification du pourcentage d'explication de la variation de rendement à Béoumi et

Tableau n° 35

EQUATIONS DE REGRESSION SIMPLE AUX DATES OU LA REGRESSION RENDEMENT-ATTAQUES EST SIGNIFICATIVE OU HAUTEMENT SIGNIFICATIVE

Type d'attaque	Lieu	Type de transformation de la variable expliquée	Equations de régression y = Rendement ou y = log (Rendement + 1) - X = attaque du jour				
			20 JAL	40 JAL	60 JAL	80 JAL	100 JAL
Total Insectes	Daoukro	Sans log	y=860,8-144,6X y=2,69-0,23X	y=1131,1-69,1X y=3,0-0,096X	y=1219,6-135,7X y=3,143-0,191X	y=1242,6-120,6X y=3,115-0,158X	y=949,4-107,1X NS
	Béoumi	Sans	NS NS	y=2108,9-569,3X y=3,300-0,157X	y=2291,1-263,4X y=3,354-0,075X	y=2645,2-189,8X y=3,441-0,051X	NS NS
	Gohitafla	Sans log	NS NS	y=2959,0-1085,1X y=3,451-0,219X	y=3007,2-263,1X y=3,457-0,0495X	y=3317,6-232,4X y=3,507-0,0405X	NS NS
	Bouaké	Sans log	-	-	y=2989,8-828,0X y=3,465-0,133X	y=3046,8-338,0X y=3,465-0,0555X	NS NS
Nombre de trous	Daoukro	Sans log	- -	y=907,5-46,9X y=2,789-0,080X	y=1104,6-22,2X y=3,031-0,034X	y=1245,5-22,8X y=3,159-0,0314X	y=1339,3-22,7X y=3,162-0,0274X
	Béoumi	Sans log	- -	y=2132,3-884,2X y=3,306-0,240X	y=2363,0-295,5X y=3,369-0,081X	y=2559,3-114,1X y=3,417-0,0301X	y=2748,7-88,95X y=3,473-0,0241X
	Gohitafla	Sans log	- -	y=2902,1-276,3X y=3,441-0,0577X	y=2938,7-98,35X y=3,449-0,021X	y=3114,5-126,5X y=3,377-0,022X	NS y=3,482-0,0119X
	Bouaké	Sans log	-	-	y=2993,1-373,5X y=3,466-0,0626X	y=3114,6-206,1X y=3,486-0,0338X	NS y=3,468-0,0073X
Pourcentage d'entre-nœuds attaqués	Daoukro	Sans log	-	y=961,6-25,4X y=2,859-0,042X	y=1274,9-16,1X y=3,263-0,024X	y=1485,0-18,0X y=3,454-0,0241X	y=1793,2-17,8X y=3,594-0,0197X
	Béoumi	Sans log	-	y=2173,3-55,2X y=3,318-0,015X	y=2482,8-36,9X y=3,399-0,010X	y=2673-24,9X y=3,445-007X	y=3353,3-25,62X y=3,612-0,007X
	Gohitafla	Sans log	-	y=2976,4-78,5X y=3,458-0,017X	y=3002,7-44,96X y=3,458-0,0088X	y=3350,6-43,88X y=3,515-0,0077X	y=3336,7-21,88X y=3,512-0,0039X
	Bouaké	Sans log	-	-	NS NS	NS y=3,480-0,0061X	y=3,462-0,0125X y=3,481-0,0022X

Tableau n° 36

EQUATIONS DE REGRESSION MULTIPLE EXPLICITANT LE RENDEMENT EN FONCTION DES ATTAQUES CONSTATEES AUX 20e, 40e, 60e, 80e ET 100e JOURS APRES LEVEE DU MAIS

Type d'attaque	Lieu	Type de transformation de la variable expliquée	Equation de regression	Pourcentage d'explication de la variation du rendement
Total Insectes	Daoukro	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 1656,9 + 12,24X_1 - 35,89X_2 - 68,68X_3 - 52,4X_4 - 68,8X_5$ $y' = 3,342 - 0,035X_1 - 0,036X_2 - 0,120X_3 - 0,067X_4 + 0,0528X_5$	64,1 59,4
	Béoumi	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 2678,51 - 218,0X_1 - 126,2X_2 - 87,6X_3 - 126,8X_4 - 31,1X_5$ $y' = 3,423 - 0,0451X_1 - 0,0276X_2 - 0,0360X_3 - 0,0289X_4 + 0,0009X_5$	62,3 64,5
	Gohitafla	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 3420,7 - 71,94X_1 - 555,64X_2 - 160,53X_3 - 199,58X_4 + 54,4X_5$ $y' = 3,53 - 0,022X_1 - 0,123X_2 - 0,0298X_3 - 0,0334X_4 + 0,0111X_5$	38,9 50,2
	Bouaké	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 3104,5 - 641,9X_3 - 274,6X_4 + 1,04X_5$ $y' = 3,483 - 0,103X_3 - 0,047X_4 + 0,0013X_5$	21,2 25,5
Nombre de trous	Daoukro	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 1397,3 - 19,53X_2 - 3,67X_3 - 8,13X_4 - 11,1X_5$ $y' = 3,283 - 0,0434X_2 - 0,0107X_3 - 0,0126X_4 - 0,0043X_5$	63,5 66,9
	Béoumi	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 2708,1 - 65,19X_2 - 79,97X_3 - 55,16X_4 - 37,24X_5$ $y' = 3,462 - 0,0179X_2 - 0,0233X_3 - 0,0124X_4 - 0,0113X_5$	65,7 66,6
	Gohitafla	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 3346,6 - 155,93X_2 - 53,94X_3 - 80,0X_4 - 23,37X_5$ $y' = 3,514 - 0,0328X_2 - 0,0133X_3 - 0,0118X_4 - 0,0036X_5$	29,9 43,7
	Bouaké	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 3170,8 - 226,8X_3 - 157,8X_4 - 12,7X_5$ $y' = 3,495 - 0,0394X_3 - 0,0264X_4 - 0,0015X_5$	14,9 18,3
Pourcentage d'entre-nœuds attaqués	Daoukro	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 1714,67 - 4,952X_2 - 4,546X_3 - 5,196X_4 - 8,982X_5$ $y' = 3,390 - 0,0171X_2 - 0,0118X_3 - 0,0089X_4 - 0,0007X_5$	72,0 70,0
	Béoumi	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 3138,47 - 4,027X_2 - 10,022X_3 - 6,129X_4 - 15,455X_5$ $y' = 3,535 - 0,0027X_2 - 0,0033X_3 - 0,0017X_4 - 0,0031X_5$	73,3 69,8
	Gohitafla	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 3478,0 - 42,67X_2 - 17,77X_3 - 29,50X_4 - 3,42X_5$ $y' = 3,539 - 0,0107X_2 - 0,0036X_3 - 0,0047X_4 - 0,0005X_5$	31,5 43,4
	Bouaké	Sans $y' = \log(y+1)$	$y = 3174,7 - 35,57X_3 - 19,22X_4 - 9,71X_5$ $y' = 3,497 - 0,0072X_3 - 0,0040X_4 - 0,0013X_5$	10,3 13,2

X1 = attaque du 20e jour après la levée
X2 = attaque du 40e jour après la levée
X3 = attaque du 60e jour après la levée

X4 = attaque du 80e jour après la levée
X5 = attaque du 100e jour après la levée

Figure n°90

Les meilleures courbes de régression « Rendement sur nombre d'insectes »

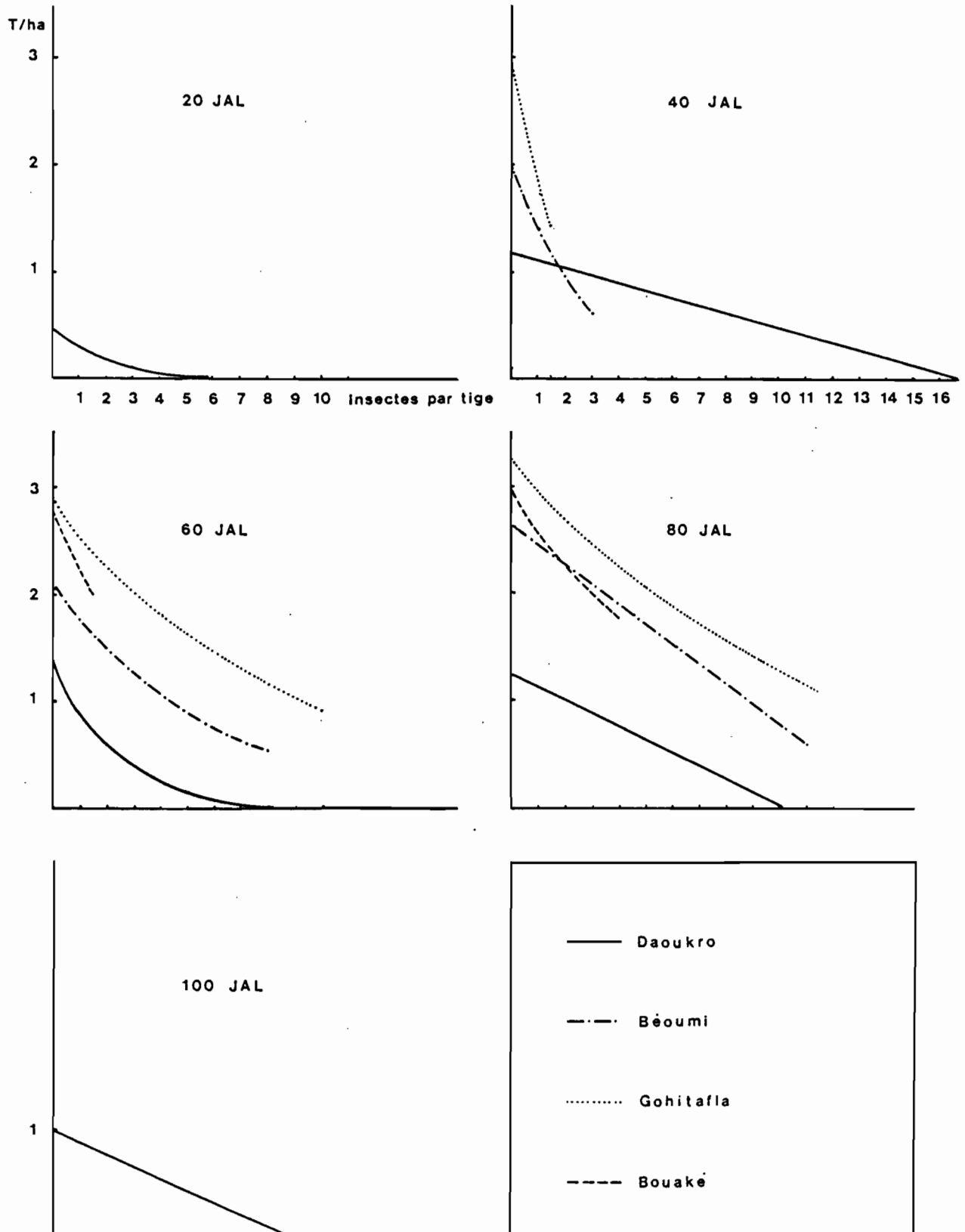


Figure n°91

Les meilleures courbes de régression - Rendement sur Nombre de trous -

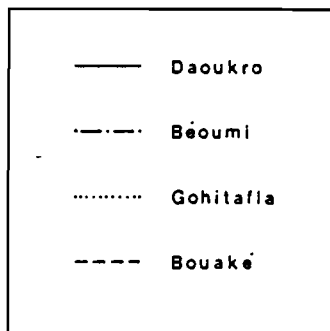
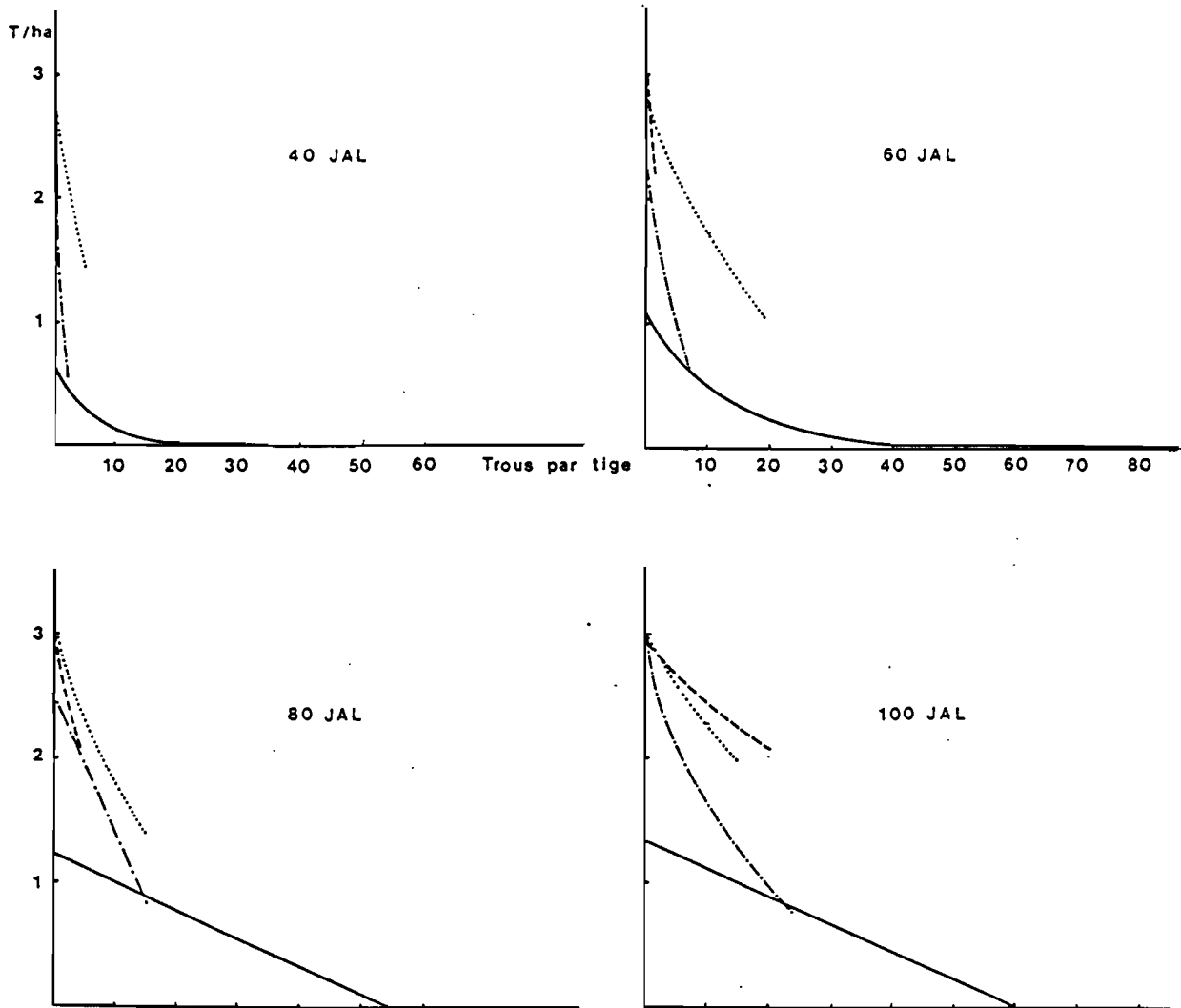
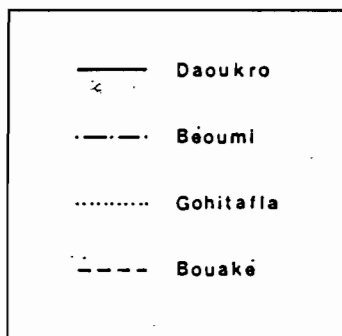
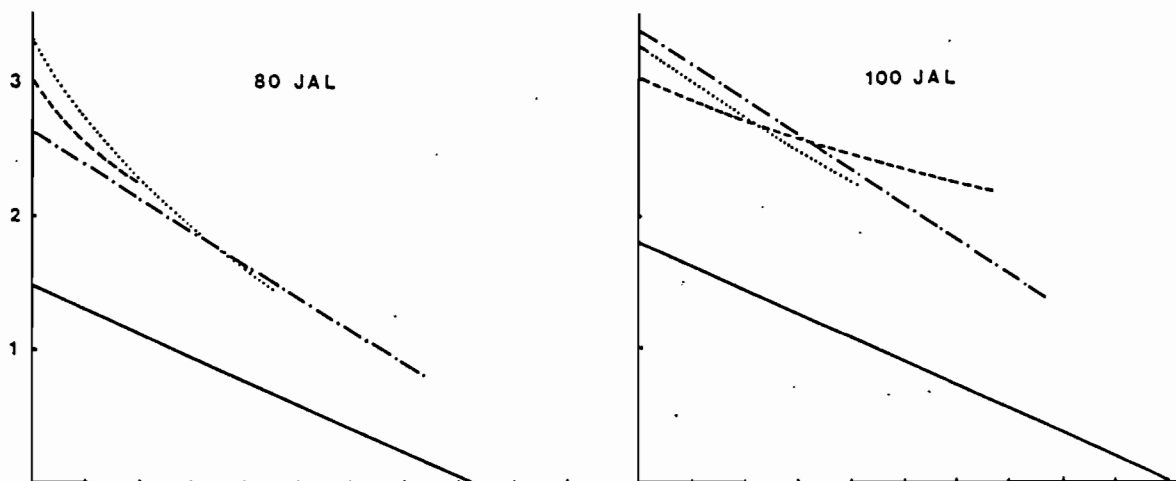
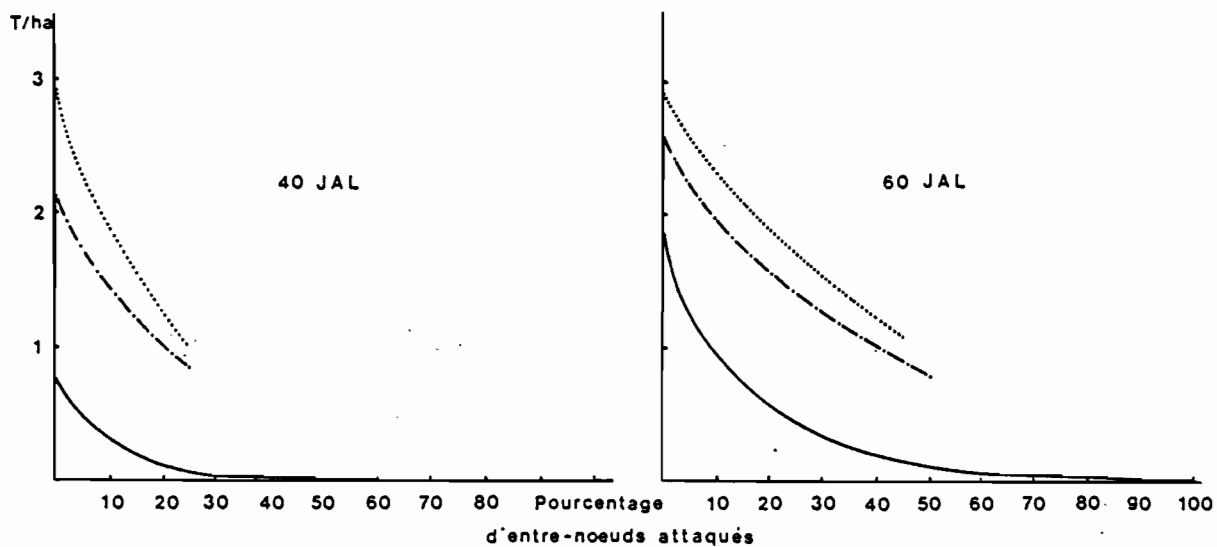


Figure n°92

Les meilleures courbes de régression

« Rendement sur pourcentage d'entre-noeuds attaqués »



par une perte de moins de 1 % à Gohitafla. C'est donc un relevé qui n'apporte pratiquement aucune information sur la variation de rendement. On constate, d'autre part, un signe positif pour le relevé du 20e jour à Daoukro, qui, lui, présentait une corrélation attaque - rendement négative en régression simple. La raison de l'apparition d'un coefficient de régression positif est la forte corrélation entre les relevés du 20e et du 40e jour ; le relevé du 40e jour masquerait l'impact du relevé du 20e jour. Ainsi, si l'on élimine de la régression multiple le relevé du 40e jour, on obtient l'équation suivante : $y = 1520,2 - 6,61x_1 - 88,3x_3 - 66,15x_4 - 49,87x_5$; le signe du coefficient de régression du relevé du 20e jour redevient donc négatif, mais l'équation n'explique plus que 58,2 % de la variation de rendement. Par contre, si l'on supprime le relevé du 20e jour, on ne modifie en aucune façon le pourcentage d'explication, qui reste de 64,1 %.

On peut donc conclure que les variables qui apparaissent avec un coefficient de régression positif sont celles qui n'apportent pratiquement aucune explication supplémentaire de la variation de rendement, et que leur suppression ne modifie que très peu la valeur du modèle.

2.3.1.2. Analyse conjointe des divers points d'observation

Les résultats obtenus sur chaque point d'observation ont permis de mettre en évidence que le pourcentage de chute de rendement devait être assez voisin en chaque point, et donc que, pour un potentiel plus élevé en culture non attaquée, la perte de rendement sera plus importante. Le potentiel de production d'une parcelle non-attaquée dans chacun de nos essais étant très variable en raison de l'action des facteurs abiotiques, nous avons donc cherché à corréliser le pourcentage de perte de rendement au niveau d'attaque. Le calcul de ce pourcentage de perte pouvait être envisagé de deux façons : la première méthode consistait à déterminer le rendement correspondant à une attaque nulle en faisant la moyenne des rendements des parcelles correspondant à cette situation pour chaque point d'observation ; cette valeur étant obtenue, on calcule pour chaque parcelle le pourcentage de perte de rendement par rapport à cette valeur. La deuxième méthode possible consistait à considérer comme rendement potentiel correspondant à une absence d'attaque le rendement estimé par les équations de régression multiple effectuées pour chaque point d'observation.

Nous avons testé les deux méthodes : elles aboutissent à des coefficients de régression très semblables, mais les termes constants sont plus voisins de zéro avec la seconde méthode qui donne ainsi des résultats plus proches de la réalité, puisqu'à une attaque nulle elle fait correspondre un pourcentage de perte peu ou pas différent de zéro. Les pourcentages d'explication fournis par les équations de la deuxième méthode sont en outre au moins équivalents à ceux obtenus par la première méthode.

Ce sont donc les résultats de ces ajustements, obtenus en utilisant le rendement potentiel fourni par les régressions réalisées pour chaque point d'observation, que nous présentons dans les tableaux n° 37 à 39. Les figures n° 93 à 95 donnent, d'autre part, le nuage de points et la courbe ajustée pour la meilleure régression simple de chaque type d'attaque.

On pourra constater que :

- Dans la très grande majorité des cas, l'analyse conjointe fournit une explication de la variation de perte de rendement meilleure que celle obtenue par l'analyse point par point pour la variation de rendement.

- On obtient de bons pourcentages d'explication, atteignant 72,3 % en régression simple et 79,2 % en régression multiple.

- Les meilleurs ajustements trouvés sont linéaires pour le pourcentage d'entre-noeuds attaqués et avec une transformation logarithmique de la variable explicative pour le nombre d'insectes et le nombre de trous par tige. L'observation des nuages de points obtenus, en particulier pour la courbe concernant le nombre de trous au 60e JAL, permet de penser que la courbe logarithmique n'est peut être pas la mieux adaptée, et qu'une équation du type $\frac{x}{ax+b}$ donnerait un meilleur ajustement. Notre objectif en l'occurrence n'est toutefois pas de trouver la formule mathématique décrivant de façon la plus parfaite le nuage de points, mais de trouver une équation simple, d'usage facile en pratique et qui décrit cependant correctement le nuage de points. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi uniquement la transformation logarithmique, qui donne de bons pourcentages d'explication, comme on l'a vu, et qui permet de calculer aisément des estimations de perte à partir d'une attaque donnée pour la plupart des vulgarisateurs ayant le niveau de formation adéquat.

Tableau n° 37

La relation "Pourcentage de perte de rendement en fonction des attaques d'insectes"
(données des quatre points d'observation réunies)

Pourcentage de variation de perte de rendement explicable
par les attaques d'insectes foreurs de la tige.

Type d'attaque	Type de transformation des variables explicatives	Régression simple					Régression multiple
		20 JAL	40 JAL	60 JAL	80 JAL	100 JAL	
Total insectes	Sans	29,4	48,2	63,5	55,5	12,5	75,2
	log (X+1)	32,0	57,3	71,9	54,2	14,6	78,5
Nombre de trous	Sans	-	39,9	54,2	62,4	62,3	68,4
	log (X+1)	-	56,4	72,3	71,9	60,7	79,2
Pourcentage d'entre-nœuds attaqués	Sans	-	48,9	68,2	68,9	58,2	76,0
	log (X+1)	-	52,9	62,1	52,9	41,2	71,4

Tous ces pourcentages sont hautement significatifs

Tableau n°38

La relation "pourcentage de perte de rendement en fonction des attaques d'insectes"
(données des quatre points d'observation réunies)

Equations de régression simple

Type d'attaque	Type de transformation des variables explicatives	20 JAL	40 JAL	60 JAL	80 JAL	100 JAL
Total insectes	Sans log (X+1)	y= 23,86 + 14,32X y= 21,92 + 81,31X	y= 22,07 + 5,13X y= 17,81 + 61,63X	y= 16,33 + 9,32X y= 9,37 + 80,33X	y= 10,18 + 7,57X y= 0,69 + 67,80X	y= 18,65 + 5,78X y= 11,31 + 46,16X
Nombre de trous	Sans log (X+1)	- -	y= 24,83 + 4,14X y= 19,71 + 65,49X	y= 21,46 + 1,68X y= 10,64 + 49,93X	y= 17,39 + 1,61X y= -2,48 + 51,83X	y= 13,12 + 1,54X y= -14,41 + 52,86X
Pourcentage d'entre-noeuds attaqués	Sans log (X+1)	- -	y= 21,31 + 2,10X y= 16,13 + 42,30X	y= 15,37 + 1,10X y= 3,17 + 37,92X	y= 7,9 + 1,02X y=-13,57 + 40,90X	y= 0,01 + 0,80X y= -36,82 + 47,23X

Tableau n° 39

La relation "Pourcentage de perte de rendement en fonction des attaques d'insectes"
(données des quatre points d'observation réunies)

Les équations de régression multiple

Type d'attaque	Type de transformation des variables explicatives	Equation de régression	Pourcentage d'explication de la variation de rendement
Total insectes	Sans	$y = 8,82 + 1,46X_1 + 1,67X_2 + 4,41X_3 + 3,32X_4 + 0,97X_5$	75,2
	$\log (X+1)$	$y = 5,37 + 7,38X_1 + 20,33X_2 + 44,37X_3 + 22,92X_4 - 4,45X_5$	78,5
	$\log (X+1)$ moins le 100e jour	$y = 4,27 + 7,38X_1 + 20,37X_2 + 44,35X_3 + 21,02X_4$	78,4
Nombre de trous	Sans	$y = 14,7 + 1,07X_2 + 0,16X_3 + 0,57X_4 + 0,76X_5$	68,4
	$\log (X+1)$	$y = -0,20 + 15,97X_2 + 18,51X_3 + 20,62X_4 + 8,66X_5$	79,2
Pourcentage d'entre-noeuds attaqués	Sans	$y = 7,06 + 0,45X_2 + 0,43X_3 + 0,37X_4 + 0,18X_5$	76,0
	$\log (X+1)$	$y = -6,52 + 18,77X_2 + 17,79X_3 + 12,87X_4 + 2,54X_5$	71,4

X_1 = attaque du 20e jour après levée

X_2 = attaque du 40e jour après levée

X_3 = attaque du 60e jour après levée

X_4 = attaque du 80e jour après levée

X_5 = attaque du 100e jour après levée

Figure n°93

La relation « Pourcentage de perte de rendement
en fonction du Nombre d'insectes par tige au 60^e jour après levée »

% de perte de
Rendement

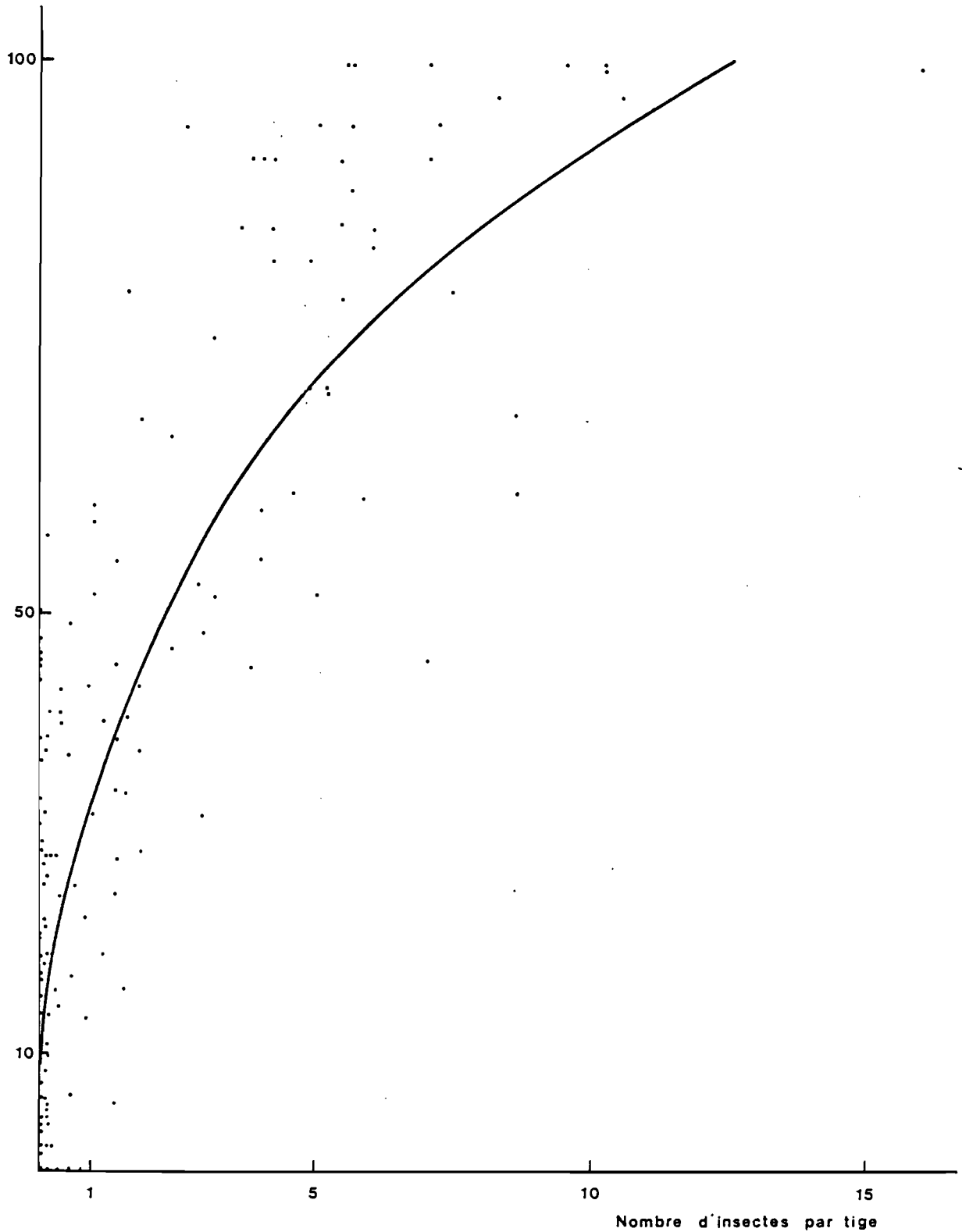


Figure n° 94

La relation « Pourcentage de perte de rendement en fonction
du Nombre de trous par tige au 60^e jour après levée »

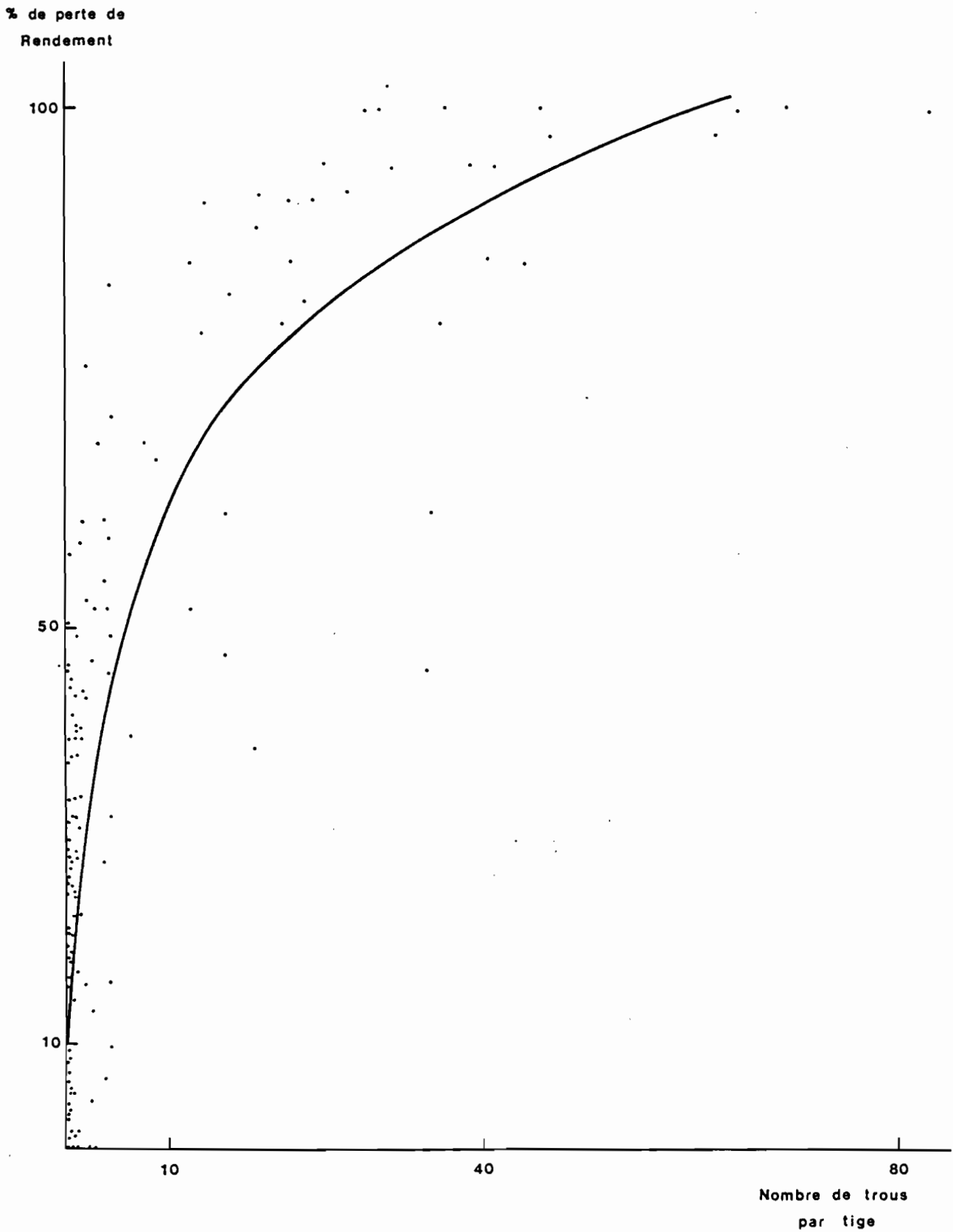
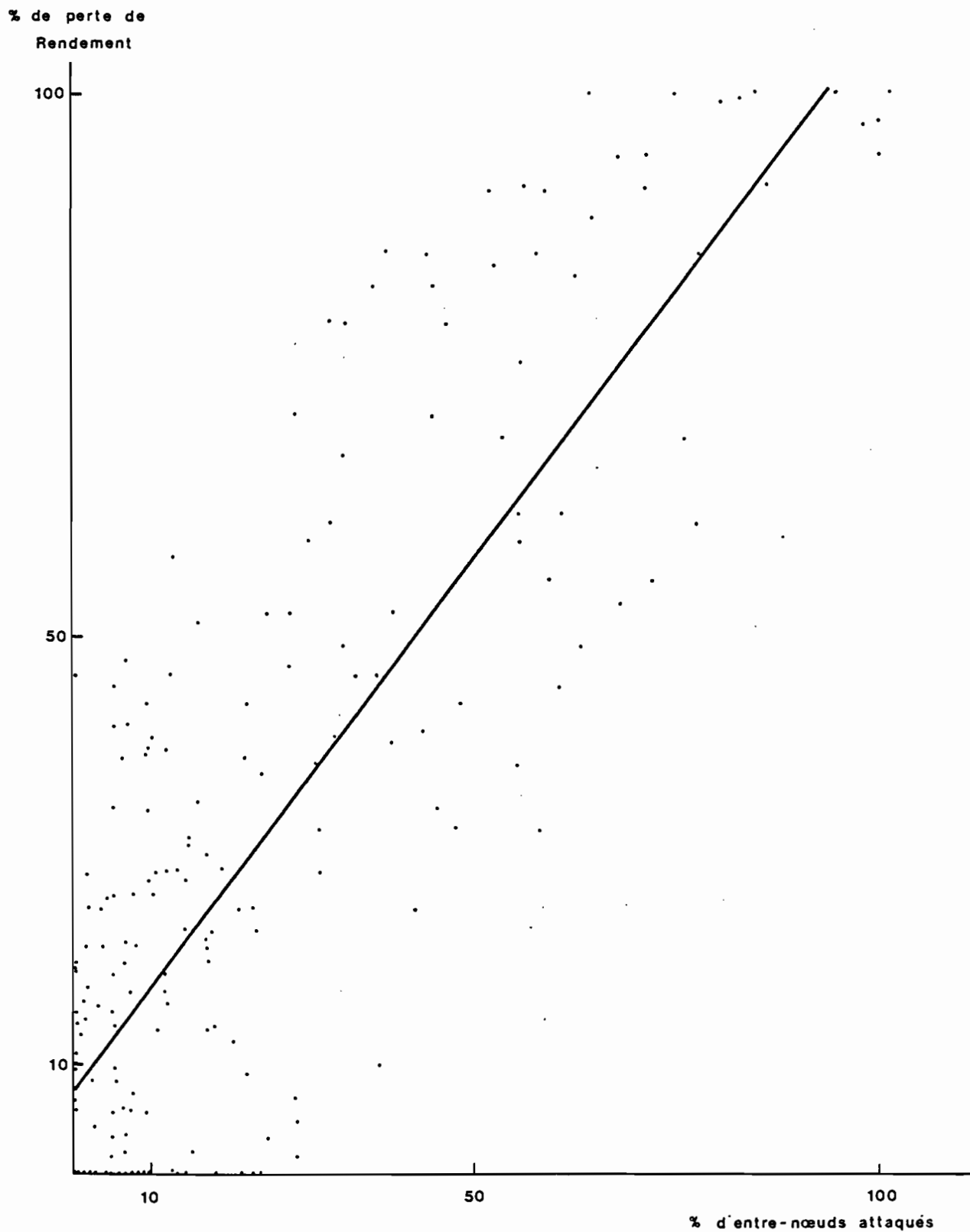


Figure n° 95

La relation « Pourcentage de perte de rendement
en fonction du Pourcentage d'entre-nœuds attaqués au
80^e jour après levée »



- On retrouve, au niveau des équations de régression multiple, le problème soulevé précédemment de coefficients de régression de signe opposé à ce que l'on attendrait logiquement. Il n'y a ici qu'un exemple de ce cas, celui du nombre d'insectes du 100e jour après levée. Le tableau n° 39 donne les équations de régression en intégrant ou non le relevé du 100e jour, et l'on peut voir que le pourcentage d'explication de la variation de perte de rendement n'est guère modifié lorsqu'on supprime l'apport du 100e jour.

2.3.2. Les insectes foreurs de l'épi

L'étude des dégâts occasionnés par les foreurs de l'épi a été abordée en tenant compte des pertes en poids réelles ou du nombre de grains réellement attaqués. Quelque soit la production d'un épi, il semble en effet raisonnable de penser qu'un insecte donné consommera pour son développement la même quantité de matière sèche, et donc que l'on aura, quelque soit la productivité d'un épi, la même perte de production pour une même attaque. En ce qui concerne le nombre de grains attaqués, la même hypothèse a été retenue : en effet les grains ne sont pratiquement jamais totalement détruits, et le passage de la chenille d'un grain à un autre n'apparaît pas dû à un manque de nourriture, mais plus vraisemblablement à un comportement de foreur se déplaçant le long de la rangée de grains. Quelque soit la taille moyenne du grain, dans des limites toutefois relativement voisines, on peut donc supposer qu'une même attaque aboutira à un nombre de grains attaqués approximativement voisin. Cela d'autant plus que la taille du grain varie le long d'une rangée de l'épi et que, pour un même épi, le nombre de grains attaqués peut être assez variable suivant que l'attaque débute à l'extrémité supérieure de l'épi ou non. L'analyse a été menée conjointement pour les divers points d'observation.

Les tableaux n° 40 et 41, ainsi que les figures n° 96 et 97 résument les résultats obtenus. Compte-tenu de l'imprécision inhérente à la méthode de l'étude en infestation naturelle, que nous avons soulignée précédemment, les résultats obtenus paraissent satisfaisants :

- Les régressions sont toutes hautement significatives. Si l'on effectue les régressions multiples en fonction des divers stades larvaires, le résultat ne s'améliore pas beaucoup par rapport à la régression simple en fonction du nombre total d'insectes. (La variable Mussidia du 3e stade larvaire apparaissant avec un coefficient de régression négatif a été éliminée de la régression multiple).

Tableau n° 40

Relation entre la perte de poids de grain par épi et le nombre d'insectes foreurs de l'épi.

Courbes ajustées	Equation de régression	Pourcentage d'explication de la variation de la variable expliquée
Perte de poids de grain par épi en fonction du total insectes par épi. Sans transformation.	$y = 0,9355 + 0,381X$	54,7 (HS)
Perte de poids de grain par épi en fonction du total insectes par épi avec transformation logarithmique de la variable explicative.	$y = - 0,70 + 5,572X$	51,9 (HS)
Perte de poids de grain par épi en fonction de chaque stade larvaire des insectes. Sans transformation.	$y = 0,679 + 0,68X_2 + 0,11X_3 + 0,73X_4 + 0,62X_5$	59,3 (HS)
Perte de poids de grain par épi en fonction de chaque stade larvaire des insectes. Avec transformation logarithmique des variables explicatives.	$y = - 0,09 + 4,060X_2 + 0,953X_3 + 4,377X_4 + 2,032X_5$	57,6 (HS)

X1 = Mussidia de 3e stade larvaire

X2 = Mussidia de 4e stade larvaire

X3 = Mussidia de 5e stade larvaire

X4 = Mussidia de stade nymphal

X5 = Autres insectes

Tableau n° 41

Relation entre le nombre de grains attaqués par épi
et le nombre d'insectes foreurs par épi.

Courbes ajustées	Equation de régression	Pourcentage d'explication de la variation de la variable expliquée
Nombre de grains attaqués en fonction du total insectes par épi. Sans transformation.	$y = 22,57 + 4,358X$	53,5 (HS)
Nombre de grains attaqués en fonction du total insectes par épi. Avec transformation logarithmique de la variable explicative.	$y = -1,27 + 70,71X$	62,5 (HS)
Nombre de grains attaqués en fonction de chaque stade larvaire des insectes. Sans transformation.	$y = 20,84 + 2,41X_2 + 6,52X_3 + 6,85X_4 + 6,05X_5$	56,4 (HS)
Nombre de grains attaqués en fonction de chaque stade larvaire des insectes. Avec transformation logarithmique des variables explicatives.	$y = 10,26 + 20,76X_2 + 42,59X_3 + 48,08X_4 + 12,52X_5$	63,9 (HS)

X1 = Mussidia de 3e stade larvaire

X2 = Mussidia de 4e stade larvaire

X3 = Mussidia de 5e stade larvaire

X4 = Mussidia de stade nymphal

X5 = Autres insectes

Figure n° 96

La relation - Perte de poids de grain par épi¹ en fonction du Nombre d'insectes par épi -

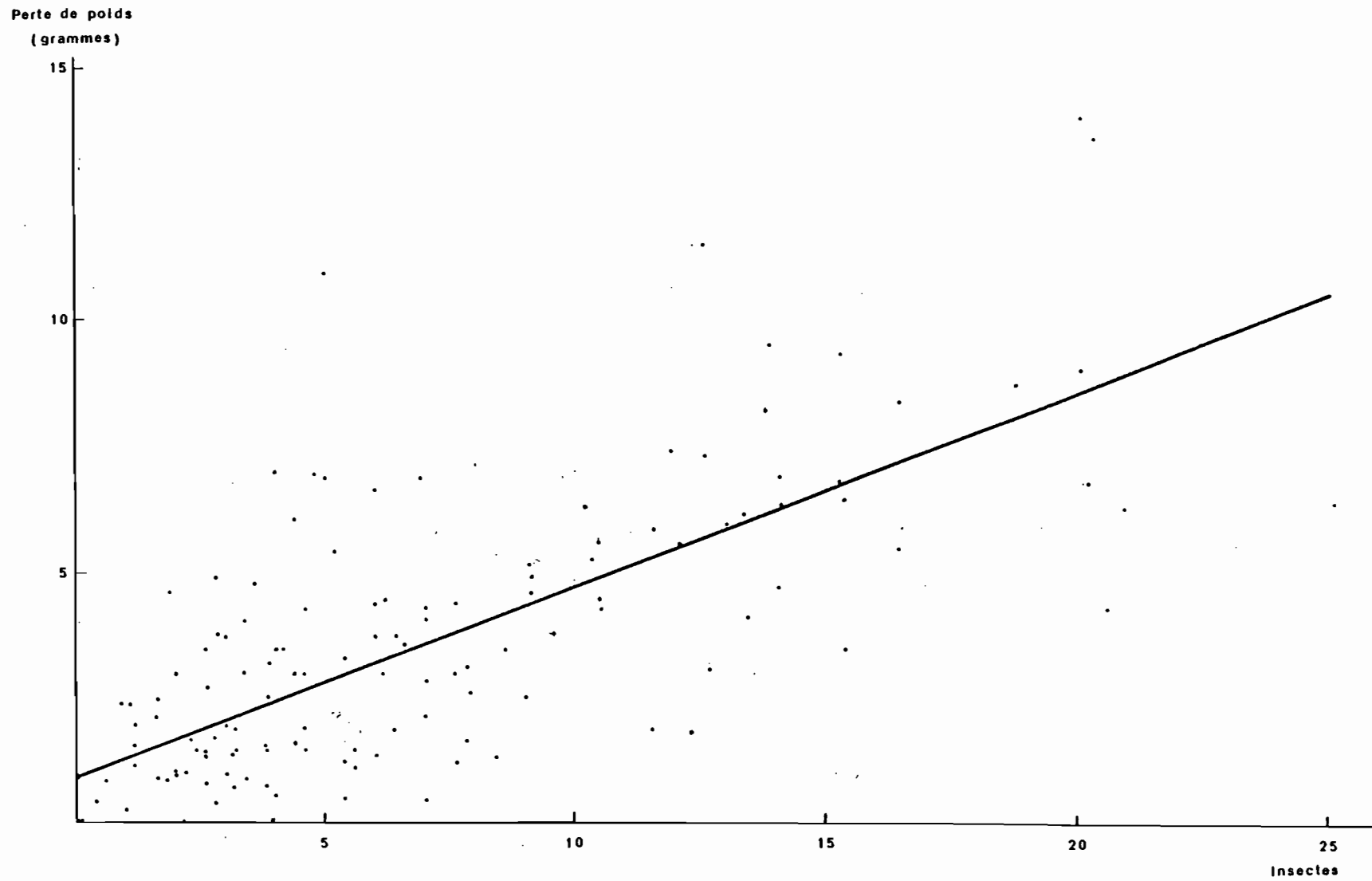
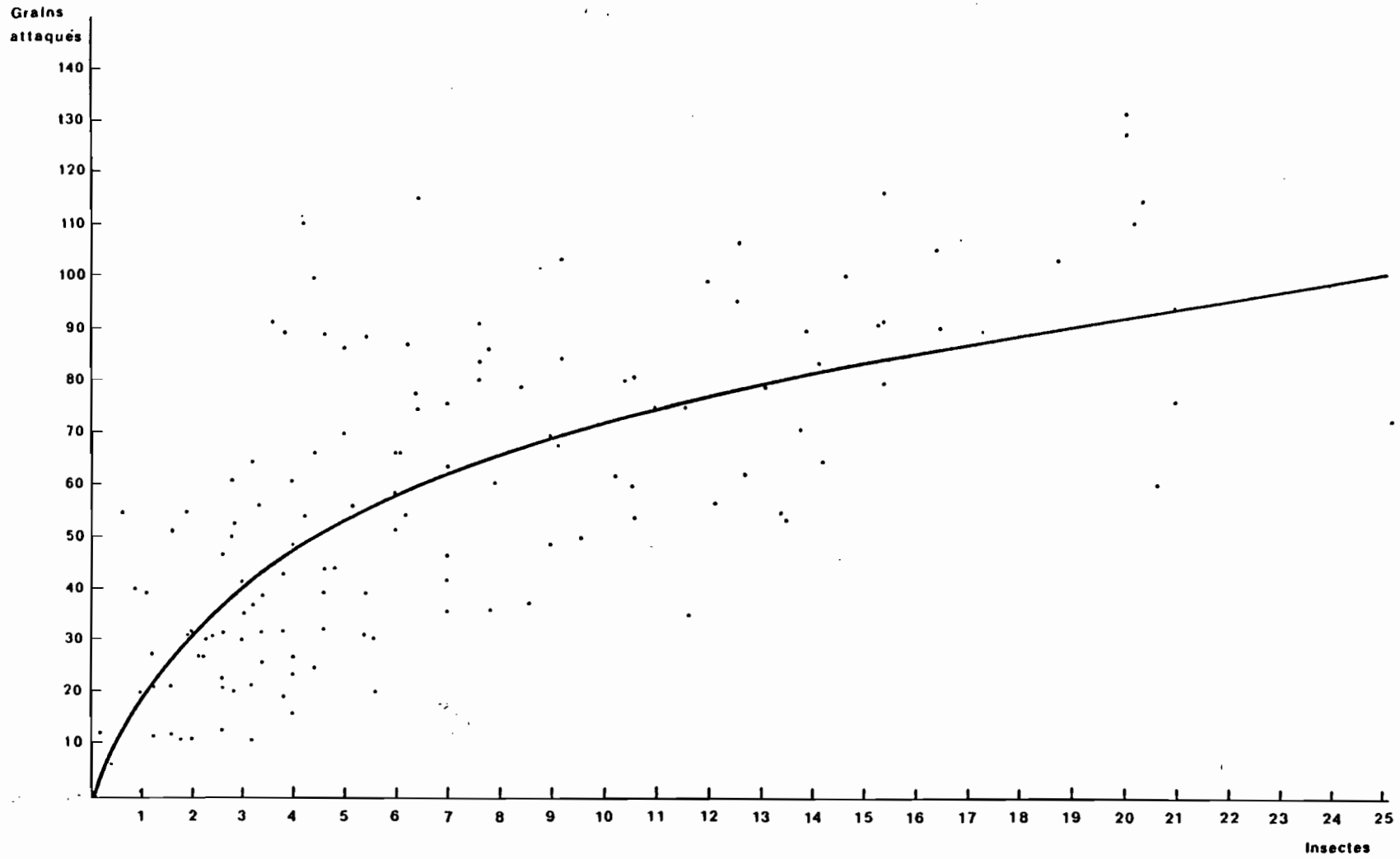


Figure n° 97

La relation - Nombre de grains attaqués par épi en fonction du Nombre d'insectes par épi -



- La régression linéaire représente le meilleur ajustement pour la perte de poids, alors que la régression avec transformation logarithmique du nombre d'insectes explique mieux le nuage de points obtenus pour le nombre de grains attaqués par épi.

- La perte en poids occasionnée par les foreurs de l'épi est en général modérée : ainsi pour cinq insectes par épi, on aboutit à une perte de 2,84g/épi soit 142kg/ha si l'on compte une densité de 50 000 pieds à l'hectare à la récolte, qui est la densité conseillée. Or la densité de 5 insectes par épi est rarement atteinte : sur quatre années de relevé, nous ne l'avons observée qu'en 1984 dans la région centre. Par contre, pour le même nombre d'insectes, on obtient 54 grains attaqués par épi, ce qui représente entre 15,5 et 21,5 % de grains attaqués pour des épis ayant entre 350 et 250 grains. Ces grains étant inutilisables pour la production de semence, on peut donc considérer que les foreurs de l'épi représentent un handicap localement important pour des producteurs de semence.

2.3.3. Analyse globale tous foreurs confondus

L'analyse globale intégrant à la fois les foreurs de la tige et les foreurs de l'épi a été réalisée. Localement, suivant le niveau d'attaque de l'épi, le pourcentage d'explication de la variation de rendement peut être sensiblement amélioré par rapport aux seuls foreurs de la tige :

A Gohitafla, par exemple, on passe de 38,9 % à 48,4 % ou de 50,2 % à 58,7 % en transformation logarithmique. A Daoukro on augmente de 13,4 % la qualité de l'explication pour la transformation logarithmique. Par contre, à Béoumi et à Bouaké, la prise en compte de l'attaque de l'épi n'apporte que très peu d'amélioration du modèle.

Si l'on réunit les résultats de tous les points d'observation, et que l'on étudie ce pourcentage de perte de rendement en fonction des attaques de tous les foreurs, l'amélioration est quasiment nulle par rapport aux seuls foreurs de la tige : 74,1 % contre 73,9 % sans transformation, et aucun changement du pourcentage d'explication avec transformation logarithmique. Ce résultat est d'ailleurs logique dans la mesure où le choix des parcelles où la perte de rendement était considérée comme nulle a été fait en tenant compte des seules attaques de tige, les attaques d'épis n'étant pas influencées par les traitements.

2.4. Discussion

Si l'on compare les diverses courbes ajustées présentées au cours des paragraphes précédents avec la courbe de réponse généralisée (figure n° 85), il apparaît clairement que l'on ne décèle en aucun cas d'activité compensatrice dans les parcelles de maïs de nos essais. Harris (1962), pour sa part (voir paragraphe 1.A.1), détectait une certaine activité compensatrice lorsque la densité mesurée à la récolte diminuait : le poids moyen d'un épi augmentant lorsque la densité diminuait. Il en concluait 'qu'il est possible que, lorsque la chute de densité n'est pas importante et lorsque la fertilité du sol n'est pas un facteur limitant, une compensation adéquate de la perte de densité peut être réalisée'. Dans son exemple, la perte de densité représentait 17 % sur le témoin et les foreurs étaient responsables de la destruction de moins de 5 % des pieds. Harris travaillait toutefois dans des conditions différentes des nôtres : il n'étudiait pas le nombre d'insectes ou de dégâts par tige, mais distinguait simplement les tiges attaquées des non attaquées. Et il comparait en fait la production d'un pied en fonction de densités différentes à la récolte et non d'attaques d'insectes. En outre, notre problème n'est pas tant de savoir si le poids d'un épi augmente lorsque la densité décroît, mais de savoir si cette compensation est telle que le rendement de la population de plants ne soit pas affecté. Sans effectuer d'analyse statistique, nous avons présenté dans le tableau n° 42 quelques chiffres qui semblent indiquer que, dans les conditions de densité de nos essais, le poids par épi et le rendement ont tendance à croître avec la densité. Une étude plus approfondie doit être entreprise pour confirmer ou infirmer cette tendance, mais notre objectif ici est simplement d'indiquer que les résultats d'Harris ne permettent pas de conclusion en matière de compensation au niveau du rendement en fonction du nombre d'insectes. Dans ce domaine, nos résultats sont clairs : la chute de rendement est très rapide dès les faibles niveaux d'attaque.

Nous avons vu que la relation entre le pourcentage de chute de rendement et le pourcentage d'entre-noeuds attaqués était linéaire alors que pour le nombre de trous et le nombre d'insectes l'ajustement logarithmique était mieux adapté. Cela signifie donc que, quelque soit le niveau d'attaque, l'évolution du pourcentage de perte de rendement est la même pour un accroissement donné du pourcentage d'entre-noeuds attaqués, alors que, lorsque l'attaque augmente, la perte marginale

Tableau n° 42

Comparaison des densités et des productions de
l'objet protégé sur tout le cycle à Daoukro

Nombre de pieds sur la ligne centrale à la récolte	Nombre d'épis sur la ligne centra- le	Poids par épi en grammes	Production de grains de la ligne centrale en grammes
50	27	88,5	2390
50	31	119,0	3690
78	43	99,8	4290
106	51	93,9	4790
106	45	110,9	4990
107	48	112,3	5390
108	41	87,6	3590
126	58	122,2	7090

50 pieds sur la ligne centrale correspondent à une densité de 25 000 pieds par hectare.

devient moins importante si l'on tient compte du nombre d'insectes ou du nombre de trous. Les phénomènes de compétition entre les foreurs pour les forts niveaux d'attaque, dont nous avons parlé lors de la présentation de la courbe de réponse généralisée, semblent ici une explication logique : lorsque la densité de ravageurs devient importante, la compétition pour la nourriture et l'espace s'accroît : les insectes ont donc alors un comportement plus actif et recherchent des entre-noeuds peu ou pas attaqués. Le nombre de trous s'accroît alors nettement, sans que la perte de rendement évolue proportionnellement. Ces phénomènes de compétition aboutissent en outre à une moins grande nuisibilité de l'insecte, les insectes parvenant souvent dans des entre-noeuds déjà attaqués où le dégât supplémentaire occasionné a moins d'impact sur le rendement. Le comportement des insectes se traduit toutefois par une dispersion maximale en vue de limiter ces phénomènes de compétition : on peut le constater très clairement dans les tableaux n° 43 et n° 44. A Daoukro, par exemple, on trouve au 40e jour après levée 4,45 insectes en moyenne par entre-noeud attaqué, qui vont se disperser rapidement pour aboutir à un insecte par entre-noeud attaqué. A Béoumi, où l'attaque est plus tardive, la répartition des larves se fait beaucoup mieux en raison, en particulier, d'une meilleure distribution des pontes sur la tige. A Gohitafla, où les niveaux d'attaque sont plus faibles, la répartition semble moins bonne, peut être parce que le niveau atteint de 1,6 larves par entre-noeud attaqué au 80e jour ne conduit pas à des phénomènes de compétition dans la mesure où de nombreuses larves sont relativement jeunes dans ce cas. Le tableau n° 44 indique, pour un insecte présent, le nombre de trous par tige supplémentaire entre deux relevés, ainsi que le pourcentage supplémentaire d'entre-noeuds attaqués par cet insecte. A Daoukro, comme à Gohitafla, en début de cycle les insectes se déplacent beaucoup, un insecte aboutissant en moyenne à 3,5 trous de plus par tige par exemple à Daoukro entre le 40e et le 60e JAL. Par la suite, les phénomènes de compétition diminuant, le déplacement se réduit, et le nombre de trous par insecte présent décroît. Par contre, à Béoumi, le comportement est semblable sur tout le cycle, traduisant une répartition qui se fait régulièrement au fur et à mesure de l'augmentation des populations. En ce qui concerne le pourcentage d'entre-noeuds attaqués par insecte présent, il diminue au cours du cycle, ce qui traduit simplement qu'un insecte a davantage de chances de se retrouver dans un entre-noeud attaqué lorsque le pourcentage d'entre-noeuds attaqués croît. Cela d'autant plus si les insectes utilisent les orifices forés par d'autres plutôt que d'en forer de nouveaux. Ceci peut d'ailleurs être un phénomène supplémentaire

Tableau n° 43

Evolution du nombre d'insectes par entre-noeud attaqué

	40 JAL	60 JAL	80 JAL
Daoukro	4,45	1	1
Béoumi	1	1	1,4
Gohitafla	0,8	1,4	1,6

Tableau n° 44

Nombre de trous et pourcentages d'entre-noeuds attaqués
supplémentaires pour un insecte présent entre chaque date de relevé

Point d'observation Période	Nombre de trous			% Entre-noeuds attaqués		
	Daoukro	Béoumi	Gohitafla	Daoukro	Béoumi	Gohitafla
40 à 60 JAL	3,5	0,9	2,6	6,2	7,4	4,1
60 à 80 JAL	1,2	1,5	0,4	0	4,0	3,2
80 à 100 JAL	0,03	1,5	0,4	2,1	4,8	2,6

s'ajoutant à la réduction de la dispersion des insectes pour aboutir à un faible nombre de trous supplémentaire par insecte présent en fin de cycle. On notera toutefois que le pourcentage d'entre-noeuds attaqués par insecte présent reste relativement stable à Béoumi sur tout le cycle, ceci confirme la distribution régulière continue déjà constatée avec le nombre de trous.

La comparaison des ajustements obtenus à l'aide de régressions simples et de régressions multiples donne toujours la supériorité aux régressions multiples. Faut-il en conclure que la régression multiple doit être systématiquement privilégiée ? Il faut, à notre sens, se conformer ici aux conseils de R. Tomassone et Al (1983) qui disent : "il n'est sans doute pas inutile de répéter qu'un des grands principes de toute modélisation est de choisir, parmi tous les modèles satisfaisant aux objectifs fixés dans cette modélisation, celui qui est le plus simple ; une forme analytique plus compliquée qu'une autre ne peut se justifier que par sa richesse beaucoup plus grande". Dans ce cas particulier des attaques du maïs par les foreurs de la tige, certaines régressions simples ne correspondent pas, en fait, à un "point unique" car elles intègrent en réalité toutes les attaques antérieures à la date de relevé ; c'est le cas pour les dégâts observés : le nombre de trous par tige et le pourcentage d'entre-noeuds attaqués. Toutefois on observera que ce sont les relevés des 60e et 80e JAL qui fournissent les meilleurs ajustements, celui du 100e JAL étant en général moins intéressant pour les raisons, sans doute, que nous avons développées précédemment.

En ce qui concerne le nombre d'insectes, l'erreur due à la régression simple peut être plus importante, dans la mesure où notre analyse ne tient pas compte du stade larvaire : ainsi la présence d'un insecte par tige au 60e jour aboutit à une perte de rendement de 33,6 % en régression simple. En régression multiple, cette perte est de 32,3 % si l'attaque a débuté au 20e jour, mais seulement de 24,0 % si l'attaque débute au 60e jour. On voit donc que la régression simple aboutit en l'occurrence à un résultat similaire à la régression multiple en cas d'attaque sur tout le cycle. Ceci traduit que les attaques, dans nos essais, ont débuté, en majorité, relativement tôt, et se sont prolongées sur tout le cycle du maïs.

Il semble donc qu'il faille privilégier l'utilisation de la régression multiple pour l'étude de la relation entre le pourcentage de perte de rendement et le nombre d'insectes par tige. Dans le cas des dégâts, la régression simple devrait fournir une estimation des pertes suffisamment correcte.

Pour juger de la qualité des divers modèles, la meilleure méthode est de les tester. Il ne nous est pas possible de tester la régression multiple, car tous les résultats obtenus ont été inclus dans l'analyse. Par contre, il nous est possible de tester la régression simple sur un essai non inclus dans l'analyse, et où un relevé a été effectué au 80e jour. Les rendements estimés sont comparés aux rendements observés dans le tableau n° 45. Le calcul des rendements estimés a été effectué de la façon suivante :

A partir de l'équation de régression simple correspondant à la date de relevé, nous avons estimé le pourcentage de perte Y de l'objet le mieux protégé compte-tenu du niveau d'attaque y sur cet objet. Nous avons fait de même pour un objet plus attaqué qui aura une perte de rendement estimée à X pour une attaque x. A partir du rendement B observé dans l'objet le moins attaqué, on peut donc estimer le rendement que l'on devrait obtenir dans l'objet plus attaqué : $C = \frac{B(100-X)}{100-Y}$.

Les résultats obtenus indiquent que la précision de l'estimation s'accroît nettement avec le niveau d'attaque en ce qui concerne le nombre d'insectes et nombre de trous par tige : au-delà de 4 trous par tige, le rendement estimé se situe dans une fourchette allant de -4,2 % à + 16,0 % du rendement observé ; pour le nombre d'insectes, au-delà de 2 insectes par tige, la fourchette va de +7,3 % à +19,3 %. Pour des attaques plus faibles, l'estimation est beaucoup moins bonne : il semble bien que l'on puisse attribuer cela à la précision de l'échantillonnage, qui est d'autant meilleure pour un même nombre de tiges que l'attaque est importante : à titre d'exemple, le coefficient de variation sur le T9, peu attaqué, atteint 104 % pour le nombre de trous, alors qu'il est de 53 % pour le T3, plus attaqué. Ce problème de la qualité de l'échantillonnage explique d'ailleurs sans doute pourquoi les régressions effectuées par point d'observation étaient bien moins bonnes à Gohitafla et Bouaké, où l'attaque était modérée, qu'à Daoukro et Béoumi où la meilleure distribution des insectes donnait un échantillon beaucoup plus représentatif : la qualité de la régression s'améliorant avec les échantillons fortement attaqués pour lesquels l'estimation de la perte de rendement est plus précise. Le bon résultat observé ici avec les attaques d'insectes permet d'ailleurs de conclure que l'attaque a du être régulière sur tout le cycle, puisque nous avons vu que c'est dans ce cas que la régression simple aboutit à des estimations équivalentes à la régression multiple, qui donnerait un meilleur ajustement.

En ce qui concerne le pourcentage d'entre-noeuds attaqués, les résultats sont mauvais, le rendement estimé étant toujours nettement supérieur au rendement observé. Il semble qu'il y ait là, plutôt qu'une inadéquation du modèle, le résultat d'une

observation mal réalisée : nous nous étions en effet aperçu, mais trop tardivement, que les observateurs estimaient les pourcentages d'entre-noeuds attaqués extérieurement, après avoir compté le nombre d'entre-noeuds total et le nombre de trous. Or certains entre-noeuds attaqués ne sont décelables qu'en ouvrant la tige, soit parce que l'insecte ayant pénétré jeune, on ne distingue pas de trous à l'extérieur, soit parce que certains insectes traversent un noeud, et passent ainsi dans un autre entre-noeud sans qu'on puisse le détecter par l'observation externe. Ce défaut ayant été corrigé dans le cas des essais pris en compte dans le modèle, il n'est pas impossible que les écarts de rendement rencontrés y soient liés.

Tableau n° 45

Test du modèle de régression simple du 80e jour sur des relevés effectués en 1983 à Gohitafla.

Objet	Total insectes par tige	Nombre de trous par tige	Pourcentage d'entre-nœuds attaqués	Rendement	Rendement estimé					
					Par les insectes		Par les trous		Par les entre- nœuds attaqués	
					kg/ha	écart en %	kg/ha	écart en %	kg/ha	écart en %
T2	0,4	0,8	3,7	2105	-	-	-	-	-	-
T6	0,8	2,2	11,6	1190	1930	+ 62,2	1800	+ 51,3	1913	+ 60,8
T7	0,9	2,7	11,3	1150	1893	+ 64,6	1723	+ 49,8	1920	+ 67,0
T9	0,5	2,9	7,8	1250	2057	+ 64,6	1695	+ 35,6	2005	+ 60,4
T4	2,1	3,2	12,8	1390	1554	+ 11,8	1655	+ 19,1	1884	+ 35,5
T11	0,6	3,4	9,6	1395	2012	+ 44,2	1631	+ 16,9	1961	+ 40,6
T12	1,0	4,8	13,7	1390	1858	+ 33,7	1484	+ 6,8	1862	+ 34,0
T8	2,2	4,8	17,0	1365	1532	+ 12,2	1484	+ 8,7	1782	+ 30,5
T5	1,3	7,0	17,1	1370	1761	+ 28,5	1313	- 4,2	1779	+ 29,9
T1	3,1	8,5	26,9	1140	1360	+ 19,3	1222	+ 7,2	1541	+ 35,2
T10	5,8	12,6	35,7	890	1009	+ 13,4	1032	+ 16,0	1327	+ 49,1
T3	5,7	13,7	39,2	950	1019	+ 7,3	990	+ 4,2	1242	+ 30,7

CHAPITRE 2L'ACTION DES FOREURS SUR LES COMPOSANTES DU RENDEMENT1. ELABORATION DU RENDEMENT CHEZ ZEA MAYS1.1. Quelques aspects de la physiologie du maïs1.1.1. Les divers stades du développement

De l'émergence du plant à la maturité de la graine, divers stades de développement peuvent être distingués. Hanway (1963) distingue 11 stades, définis de la façon suivante :

- Stade 0 : Emergence de la plante. Ce stade dure environ 4-5 jours en conditions chaudes et humides.
- Stade 1 : A ce stade, le collet de la quatrième feuille est visible ; le meristème apical se trouve alors au niveau de la surface du sol ou légèrement dessous. C'est l'époque de l'initiation paniculaire, et de la fin de la différenciation des ébauches foliaires. Ainsi, le nombre de feuilles du plant de maïs est déterminé à cette époque, en fonction des caractéristiques génétiques du plant et des conditions du milieu précédant cette période. Jusqu'à ce stade, la racine primaire (radicelle) et quelques racines séminales assurent la nutrition minérale. Après ce stade ce sont les racines nodales issues de noeuds situés à 2,5 - 3 cm sous la surface du sol, et éventuellement au-dessus du sol plus tardivement, qui deviennent le système racinaire permanent du plant.
- Stade 2 : Le collet de la 8e feuille est visible. La tige vient de débiter sa période d'élongation rapide. Le méristème apical se situe à 12-15cm au-dessus du sol. Les premières feuilles (une ou deux) peuvent être perdues à cette époque. Ce stade se situe au milieu de la période de croissance rapide des feuilles.

- Stade 3 : Le collet de la 12^e feuille est visible. Toutes les feuilles du plant ont alors atteint leur surface maximale, bien que certaines soient encore partiellement ou entièrement cachées dans le cornet, et non encore visibles : les feuilles deviennent plus vertes et prennent du poids lorsqu'elles émergent du cornet, mais leur surface ne s'accroît pas. A ce stade les trois ou quatre premières feuilles peuvent n'être plus fonctionnelles et il peut n'y avoir que 8 à 9 feuilles pleinement déroulées apparentes. On se situe alors environ au milieu de la période de croissance rapide de la tige. La panicule est développée mais est encore incluse dans le cornet de feuilles. La croissance racinaire est rapide.

- Stade 4 : Les spathes de l'épi supérieur apparaissent à ce stade et commencent une croissance rapide. L'épi, dans les spathes, mesure alors environ 2,5cm de long et commence à se développer rapidement. Les 5 ou 6 feuilles du bas du plant peuvent n'être plus fonctionnelles à cette époque.

- Stade 5 : 75% des plants ont des soies visibles. La panicule, la tige et les feuilles ont atteint leur développement maximal ; la panicule a totalement émergé 2 à 3 jours avant l'apparition des soies. La croissance végétative a cessé et la croissance ultérieure ne concerne que l'épi. Les soies continuent à croître jusqu'à ce qu'elles soient fertilisées par le pollen. En conditions favorables, il y a peu de croissance racinaire après ce stade. C'est l'époque de la pollinisation.

- Stade 6 : Se situe 12 jours après le stade précédent. L'épi approche de sa taille maximale. Les grains ont beaucoup gonflé, particulièrement l'endosperme, ressemblant à des bulles, mais contiennent très peu de matière sèche. Le coléoptile, la première feuille et la radicule viennent juste d'être initiées dans l'embryon. L'amidon a juste commencé à s'accumuler dans l'endosperme. C'est le début de la période de rapide accumulation de matière sèche dans les grains ; la matière sèche continuera à s'accumuler rapidement à un taux journalier pratiquement constant jusqu'au stade 9. Le transfert d'azote et de phosphore vers le grain débute à ce stade et continuera jusqu'à la maturité.

- Stade 7 : 24 jours après le stade 5. Le taux de croissance de l'embryon est alors faible en comparaison de celui de l'endosperme. Au sein de l'embryon, l'axe principal de la radicule est différencié totalement et la 4^e feuille est habituellement présente. A ce stade se situe la fin de la division cellulaire de la couche épidermique de l'endosperme, et le début de l'accroissement rapide de la taille de l'embryon.
- Stade 8 : 36 jours après le stade 5. La croissance de l'embryon est très rapide entre les stades 7 et 8 (20 à 40 jours après "75% de soies visibles") ; la radicule et les feuilles embryonnaires sont complètement différenciées. Les racines séminales sont initiées 30 à 40 jours après le stade 5. L'accroissement de l'endosperme à ce stade est principalement dû à l'accroissement de la taille des cellules.
- Stade 9 : 48 jours après le stade 5. L'embryon est physiologiquement mûr, mais il peut encore s'accroître légèrement en taille. Il y a habituellement 5 feuilles embryonnaires quand la graine est mûre.
- Stade 10 : 60 jours après le stade 5. Les plants sont physiologiquement mûrs : l'accumulation de matière sèche a cessé ; les spathes et certaines feuilles sont sénescentes. Cependant, le taux d'humidité de l'épi continuera à décroître après ce stade.

Ces divers stades, définis pour des maïs hybrides, et plus particulièrement pour l'état de l'Iowa aux Etats-Unis, nécessitent d'être adaptés aux conditions locales d'environnement et de variétés. En particulier pour le nombre de feuilles de chaque période avant le stade n° 5. Par contre, la période s'étendant depuis le moment où 75 % des soies sont visibles jusqu'à la maturité physiologique est relativement constante, quelque soient les variétés où les conditions environnementales. Les plantes ont atteint leur maturité physiologique 60 jours après l'apparition des soies.

En pratique, pour une variété comme le CJB, on retrouve, au niveau végétatif, des stades voisins de ceux mentionnés : ainsi, avec 8 feuilles visibles, on trouve le bourgeon apical à 11 centimètres du sol. Avec 12 feuilles visibles, sur un plant qui mesure par exemple 164cm de haut, la base de la panicule est à 107cm

du sol et la panicule, qui a atteint pratiquement son développement maximal mesure 25 centimètres de long. Elle est encore incluse dans le cornet. L'épi mesure alors environ 4mm de long : on est donc bien à un stade comparable au stade 3 de Hanway, et l'on peut considérer ces diverses phases de développement comme correctes dans les conditions de nos essais.

1.1.2. Répartition des éléments nutritifs au cours du cycle

Lorsque toutes les conditions climatiques et parasitaires sont bonnes, la production plus ou moins importante de grains dépend essentiellement de la plus ou moins bonne nutrition du plant tout au long du cycle.

Dans le cas des céréales à petit grain, telles que le blé, où l'épi est à l'extrémité de la tige, la production de grain dépend pratiquement uniquement de la capacité photosynthétique de la feuille terminale et des parties de l'extrémité apicale de la plante : l'épi lui-même et son pédoncule.

Il en va différemment dans le cas du maïs où l'épi est situé vers le milieu de la tige, et où pratiquement toute la tige feuillée participe à la nutrition du grain. Ainsi qu'on peut le constater sur le tableau n° 46, la nutrition de l'épi est surtout le fait de la partie de la tige qui lui est supérieure, mais la partie inférieure contribue aussi très notablement à une fourniture d'éléments nutritifs. Après l'anthèse, près de 85% des éléments photosynthétisés dans les parties supérieures de la tige sont dirigées vers l'épi, et le taux est en moyenne de 55% pour la partie de la tige sous l'épi.

Ces divers résultats sont resumés dans la figure n° 98 tirée de Hanway (1963), où l'on peut voir l'accumulation de la matière sèche au cours du temps dans les diverses parties de la plante. Les pourcentages respectifs sont ceux de variétés hybrides des USA qui ne sont pas tout à fait comparables dans ce domaine aux composites de Côte d'Ivoire, où le pourcentage représenté par l'épi est beaucoup plus faible : en effet on peut constater que l'épi représente, dans le cas de la variété hybride américaine, 45% de la matière sèche produite par la plante. En Côte d'Ivoire, on trouvera, en moyenne, pour le CJB (Chabaliér, 1980), une valeur de 37%. Pour les variétés hybrides produites en Côte d'Ivoire, le pourcentage est équivalent à celui des variétés américaines.

En modulant donc le graphique à la lumière de cette réserve concernant les parts respectives du grain et du reste de la plante, on pourra constater que dès le 5e stade la croissance végétative est arrêtée. Entre le 5e et 6e stade, soit vers le 70e JAL, débute le remplissage du grain, qui progresse à un rythme très rapide entre le 6e et le 8e stade qui se situe au 100e jour pour ces variétés à cycle plus long que la variété CJ8. Dans le cas de la variété ivoirienne CJ8, où le stade 5 est atteint à environ 50 JAL, le stade 8 se situe à environ 86-90 jours après levée.

Dès le début du remplissage du grain, il y a non seulement attraction privilégiée vers l'épi de tous les produits de la photosynthèse, mais attraction d'éléments minéraux stockés dans les parties végétatives du plant : il en est ainsi de l'Azote et du Phosphore dont les taux diminuent dans la tige, les feuilles et les gaines dès le 5e stade. La teneur en potassium ne diminue qu'au niveau des feuilles (figure n° 98) (d'après Hanway, 1963).

1.2. Les composantes du rendement du maïs

La production d'un hectare de maïs est l'aboutissement d'un cycle de culture au cours duquel se sont, peu à peu, mises en place les diverses composantes du rendement. On peut schématiser l'élaboration du rendement de la façon suivante :

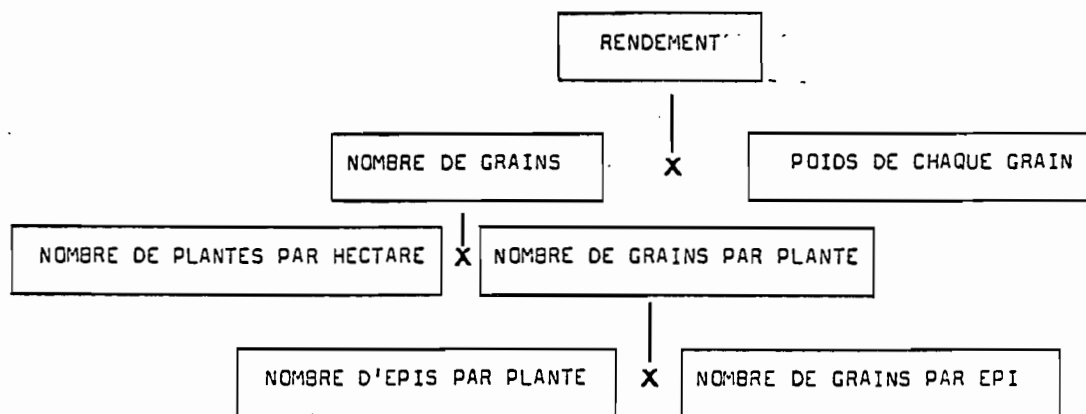


Tableau n° 46

Pourcentage de ^{14}C distribué dans différentes parties d'un plant de maïs depuis une feuille qui a assimilé du $^{14}\text{CO}_2$ quatre jours plus tôt.*

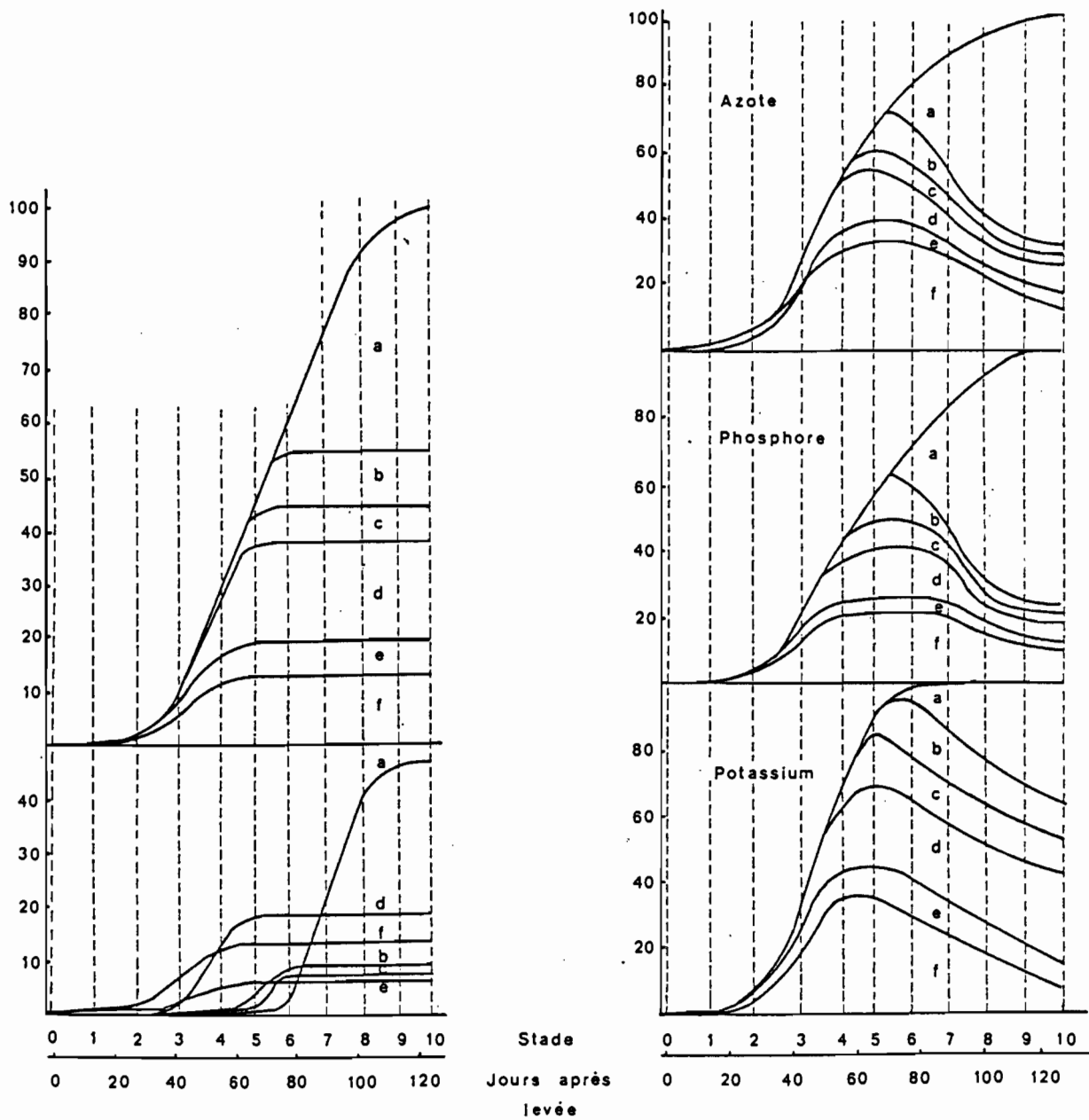
Partie de la plante	^{14}C trouvé dans la partie de la plante (%)							
	Au moment de l'anthèse				Après l'anthèse			
	$^{14}\text{CO}_2$ assimilé par une feuille de la section de tige n°				$^{14}\text{CO}_2$ assimilé par une feuille de la section de tige n°			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Panicule mâle	4	N	N	N	N	N	N	N
Section n°1 de la tige	22	N	N	N	10	N	N	N
Section n°2 de la tige	19	15	N	N	5	11	N	N
Epi	40	62	3	3	83	85	65	45
Section n°3 de la tige	8	12	33	8	2	3	23	8
Section n°4 de la tige	4	6	29	65	N	N	11	40
Racines	2	5	35	24	N	N	1	8**

Source : Eastin in Gardner et Al (1985)

- * - Les mesures ont été réalisées durant la pollinisation ("anthèse") et durant le remplissage du grain ("après anthèse")
- Le terme "tige" inclut la tige elle-même, les feuilles et les gaines.
- La section de tige n°1 correspond à l'extrémité apicale de la tige jusqu'au 3e noeud ; la section n°2 va du noeud n°3 au noeud de l'épi (habituellement le n°7), la section n°3 va du noeud de l'épi au noeud n°10 ; la section n°4 va du noeud n°10 à la base du plant.
- N = négligeable
- ** = Le total dans cette colonne est supérieur à 100 : sans doute une erreur de frappe lors de la reproduction de ce tableau par Gardner et Al, ou bien un résultat issu du fait d'arrondir les pourcentages ?

Figure n° 98

Répartition de la matière sèche (A) et des principaux éléments minéraux (B) dans les diverses parties du plant de maïs en fonction du stade de développement de la plante.



A

B

a : grain

d : tige, panicule

b : épi, soies

e : gainés

c : spathes, pédoncule de l'épi

f : feuilles

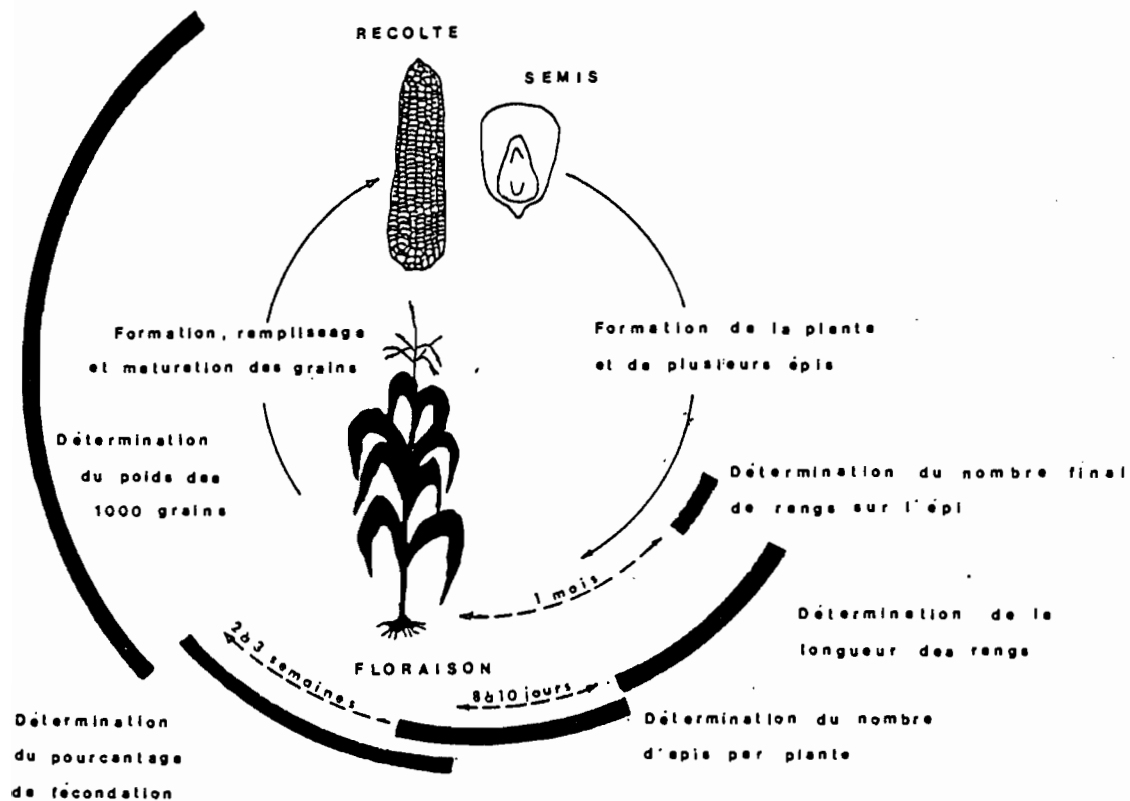
En réalité le nombre de grains par épi est le résultat final de la combinaison d'autres composantes, qui sont les premières à être mises en place au cours du cycle. Le nombre de rangs de l'épi qui, croisé avec la longueur de chaque rang, conduit au nombre d'ovules par épi. Le nombre de grains par épi étant le produit du nombre d'ovules par le pourcentage de fécondation de ces ovules.

La figure n° 99, issue d'un document de l'AGPM (1981), représente les diverses phases du cycle du maïs et les diverses périodes de mise en place des composantes par rapport à la floraison, qui est un moment crucial du cycle :

Un mois avant la floraison, le nombre final de rangs sur l'épi est déjà déterminé. Puis, la longueur des rangs se met en place dans un délai plus long, de près d'un mois, qui prend fin une dizaine de jours avant la floraison. La détermination du nombre d'épis par plante a lieu dans les quelques jours précédant la floraison. Le pourcentage de fécondation s'établit durant les deux à trois semaines suivant la floraison, et la phase finale correspond au remplissage des grains.

Figure n°99

LES MECANISMES DE RÉGULATION DU RENDEMENT



2. IMPACT DES FOREURS SUR LES COMPOSANTES DU RENDEMENT DU MAIS EN COTE D'IVOIRE CENTRALE

2.1. Méthodologie

En trois points d'observation, nous avons créé, par l'intermédiaire de traitements insecticides, des densités diverses de ravageurs et des modalités variées d'attaque durant le cycle. Pour chacun de ces schémas d'attaque, nous avons suivi diverses composantes du rendement : le nombre de pieds total à l'hectare présents à la récolte, le nombre d'épis par hectare, le nombre de grains par épi et le poids moyen d'un grain.

Pour chacune de ces composantes, nous avons comparé les objets à l'aide d'une analyse de variance, et les avons classés au moyen d'un test de Duncan au niveau de probabilité de 5%.

L'importance relative de l'altération de chaque composante dans la perte finale de rendement a ensuite été analysée, et le rôle des facteurs abiotiques a été précisé. Pour ce faire, nous avons adopté la démarche suivante :

1. Nous avons déterminé le poids d'un épi de l'objet le mieux protégé qui ne serait pas attaqué par les foreurs de l'épi (Mussidia nigrivenella n'étant pas éliminée par les traitements) : nous avons donc multiplié le poids moyen d'un grain sain de cet objet par le nombre de grains moyen de l'épi.
2. Ce poids de l'épi est multiplié par le nombre de pieds/ha à la récolte sur l'objet le mieux protégé, et par le nombre moyen d'épis/plante sur cet objet : on obtient ainsi le rendement potentiel de la parcelle.
3. La différence entre ce rendement potentiel et le rendement de l'objet le mieux protégé non-attaqué au niveau de l'épi fournit la perte de rendement due aux facteurs abiotiques.
4. La perte imputable aux foreurs de l'épi est ensuite soustraite pour aboutir au rendement réel de l'objet le mieux protégé.

5. Ensuite on étudie successivement l'impact des foreurs de la tige :
- la destruction totale des pieds en estimant le rendement qu'aurait l'objet le mieux protégé s'il avait la densité du témoin.
 - Puis la stérilisation des pieds en estimant le rendement qu'aurait l'objet le mieux protégé ayant la densité d'épis à l'hectare du témoin.
 - Puis la perte due à la différence de poids des grains en comparant ce dernier rendement obtenu avec le rendement du témoin (T 1).

La composante "nombre d'épis par plant" n'a pas été retenue au niveau de l'analyse en raison de la difficulté rencontrée pour l'appréhender correctement : il s'agit en effet du "nombre d'épis par plant portant épi" qui est intéressant, afin de voir si les insectes affectent cette composante. Or il est parfois assez difficile, à la récolte, de distinguer certains épis stériles assez volumineux qui peuvent être confondus, non despathés, avec des épis fertiles. Après despathage, les épis qui se sont révélés stériles n'ont pas été pris en compte dans la composante "nombre d'épis à l'hectare". Ce qui aboutit à la conséquence que l'on peut avoir un "nombre d'épis fertiles par pied portant épi" inférieur à 1 dans certaines parcelles où le nombre d'épis suffisamment gros pour donner l'impression d'être fertiles était important. Dans le cas où ces phénomènes n'ont pas eu lieu, le nombre d'épis était sensiblement égal à 1 par pied, sans que l'on puisse distinguer de différence nette entre les objets.

2.2. Résultats

Les trois tableaux n° 47, 48, et 49 donnent, pour chaque point d'observation, l'évolution des attaques par objet, la valeur de chaque composante suivie, et son classement.

2.2.1. Impact sur la densité de plants à l'hectare

Suivant les points d'observation, et donc suivant les modalités d'attaque sur le témoin (T1), de nettes différences apparaissent : à Daoukro et Gohitafla, plus l'attaque est forte en début de cycle et plus la destruction de pieds est importante. Par contre, à Béoumi, bien que l'on atteigne déjà 4,3 insectes par tige au 60e jour sur le T1, on n'observe pas de destruction de pieds. L'impact des

Tableau n° 47

Impact des foreurs de la tige sur les composantes du rendement en 1984.

Daoukro

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	ANALYSE
Nombre de foreurs par tige aux relevés du	20e JAL	2,4	0,7	1,5	1,8	2,3	1,5	
	40e JAL	10,6	1,4	5,5	8,1	14,6	4,9	
	60e JAL	7,9	0,2	4,8	5,7	6,2	2,0	
	80e JAL	9,0	0,4	6,3	6,1	6,4	2,7	
	100e JAL	3,4	0,9	5,1	3,8	1,6	4,0	
Nombre de plants à l'hectare à la récolte		31190 b	45690 a	39625 ab	39375 ab	30940 b	49190 a	F(5,30) = 4,26 (HS) CV = 25,8%
Nombre d'épis à l'hectare		425 d	21220 a	7790 b	5085 b	1995 c	16850 a	F(5,30) = 43,14 (HS) CV = 24,9%
Nombre de grains par épi *		-	268,2	234,0	272,7	255,5	292,2	F(4,25) = 0,88 (NS) CV = 21,3%
Poids d'un grain en g *		-	0,3062 a	0,2557 b	0,2485 b	0,2554 b	0,2788 ab	F(4,25) = 5,95 (HS) CV = 9,28%

* Remarque : Certaines parcelles de T1 ayant eu un rendement nul, cet objet n'a pu être inclus dans les analyses du nombre de grains par épi ni du poids d'un grain. Pour les rares épis du T1 que nous avons pu récolter, le nombre moyen de grains était de 235 par épi, et le poids d'un grain de 0,1893 g.

T1 : Témoin non-traité

T2 : Deltaméthrine 12g MA/ha tous les 10 jours - CE.

T3 : Cyperméthrine 12g MA/ha à 20 et 40 JAL - Granulés

T4 : Phoxime 250g MA/ha à 20 et 40 JAL - Granulés

T5 : Chlorpyriphos-éthyl 120g MA/ha à 20 et 40 JAL - Granulés

T6 : Deltaméthrine 15g MA/ha à 20 et 40 JAL - CE.

Tableau n° 48

Impact des foreurs de la tige sur les composantes du rendement en 1984

Bédoumi

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	ANALYSE
Nombre de foreurs par tige aux relevés du	20e JAL	0,2	0,03	0,6	0,08	0,03	0,08	
	40e JAL	1,4	0	0,3	0,05	0,2	0,03	
	60e JAL	4,3	0,3	1,0	0,1	2,1	0,4	
	80e JAL	7,8	2,5	3,1	0,6	5,9	2,6	
	100e JAL	2,8	2,8	2,9	1,4	2,6	2,7	
Nombre de plants à l'hectare à la récolte		56000	56450	56200	57300	56150	56400	F(5,35) = 0,18 (NS) CV = 5,6 %
Nombre d'épis à l'hectare		27625 c	35565 ab	31315 bc	36500 a	31750 bc	34440 ab	F(5,35) = 5,74 (HS) CV = 11,8 %
Nombre de grains par épi		341,5	316,6	349,5	355,4	358,1	346,3	F(5,35) = 0,4 (NS) CV = 19,7%
Poids d'un grain en g		0,1436 e	0,2222 ab	0,1811 cd	0,2367 a	0,1571 de	0,1927 bc	F(5,35) = 11,35 (HS) CV = 16,1%

T1 : Témoin non-traité.

T2 : Deltaméthrine 12g MA/ha tous les 10 jours.
C.E Arrêt 40 JAL.T3 : Endosulfan 1250g MA/ha 20 et 40 JAL.
C.E.

T4 : Endosulfan 1250g MA/ha 20 et 40 JAL - Granulés.

T5 : Phoxime 333g MA/ha 20 et 40 JAL - Granulés.

T6 : Deltaméthrine 15g MA/ha 20 et 40 JAL.
C.E.

Tableau n° 49

Impact des foreurs de la tige sur les composantes du rendement en 1984

Gohitafla

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	ANALYSE
Nombre de foreurs par tige aux relevés du	20e JAL	0,9	0,05	0,5	0,5	0,8	0,2	
	40e JAL	0,6	0,03	0,4	0,2	0,05	0,03	
	60e JAL	2,6	0,03	2,6	0,5	0,3	0,2	
	80e JAL	5,6	1,0	1,2	2,4	2,5	2,3	
	100e JAL	3,7	0,9	1,3	2,3	3,1	2,9	
Nombre de plants à l'hectare à la récolte		43313 e	57813 a	45188 de	48688 cd	51625 bc	54688 ab	F(5,30) = 11,36 (HS) CV = 9,3%
Nombre d'épis à l'hectare		37813 c	52188 a	38000 c	47500 b	49813 ab	49563 ab	F(5,30) = 20,62 (HS) CV = 8,6%
Nombre de grains par épi		281,3	318,8	249,9	311,1	296,8	290,1	F(5,30) = 1,39 (NS) CV = 20,2%
Poids d'un grain en g		0,2400 d	0,2831 a	0,2717 ab	0,2564 c	0,2804 a	0,2644 bc	F(5,30) = 9,00 (HS) CV = 5,7%

T1 : Témoin non-traité.

T2 : Deltaméthrine 12g MA/ha tous les 10 jours.
C.E.

T3 : Deltaméthrine 15g MA/ha 60 et 75 JAL - CE.

T4 : Phoxime 500 g MA/ha 20 JAL et 330g MA/ha 40 JAL - Granulés.

T5 : Carbofuran 200g MA/ha 20 et 40 JAL - Granulés.

T6 : Deltaméthrine 15g MA/ha 20 et 40 JAL - CE.

attaques de début de cycle est particulièrement mis en évidence à Gohitafla si l'on compare le T3 et le T6 : le T6, protégé en début de cycle, a un stand à la récolte non différent de l'objet le mieux protégé (T2), alors que le T3, traité à partir du 60e jour, a une densité aussi médiocre que le T1.

2.2.2. Impact sur le nombre d'épis à l'hectare

L'impact des insectes sur cette composante du rendement est très nette sur les trois points d'observation. Les foreurs sont à l'origine d'une diminution impressionnante du nombre d'épis à Daoukro, où le nombre d'épis de l'objet le plus attaqué ne représente que 2% de celui de l'objet le moins attaqué. A Gohitafla, la diminution du nombre d'épis n'est que de 27,5% et de 24,3% à Béoumi. De même que pour le nombre de pieds à l'hectare, on observe à Gohitafla, en comparant le T3 et le T6, le rôle essentiel joué par les attaques de début de cycle: ici encore le T3 se comporte comme le T1, et le T6 comme le T2.

2.2.3. Impact sur le nombre de grains par épi

Quelque soit la modalité d'attaque, les foreurs n'ont aucun impact sur le nombre de grains par épi. Si l'on distingue de très nettes différences entre les points d'observation, avec, à Gohitafla et Béoumi, un nombre de grains par épi voisin et, par contre, très supérieur à celui de Daoukro, on ne met en évidence aucune différence en un point donné en dépit de niveaux d'attaque très variés.

2.2.4. Impact sur le poids moyen d'un grain

Cette composante apparait très nettement affectée par les attaques d'insectes. Les attaques de fin de cycle ont un impact bien plus grand que celles de début de cycle ainsi qu'en témoigne la comparaison à Gohitafla du T3 et du T6 : une protection à partir du 60e jour permet d'obtenir un poids moyen de grain non différent significativement de la protection sur tout le cycle de culture. Le T5, par contre, donne, à Gohitafla, de bons résultats malgré des attaques comparables, et même légèrement supérieures à celles du T6 : sans doute s'agit-il là d'un artefact d'échantillonnage ? On notera que le poids moyen d'un grain est bien plus

faible à Béoumi qu'à Daoukro et Gohitafla : le poids d'un grain sur l'objet le mieux protégé est, à Gohitafla, de 7,5% plus faible qu'à Daoukro, et à Béoumi de 22,7% inférieur à celui de Daoukro.

2.2.5. Impact respectif des divers facteurs intervenant pour réduire la production

On peut observer sur les figures n°100, 101 et 102, comment la production se réduit peu à peu à mesure que les facteurs limitants entrent en action. Les facteurs abiotiques tout d'abord, puis les divers foreurs. La figure n° 103 représente la perte de rendement imputable à chaque facteur, en pourcentage du rendement d'une parcelle non affectée par ce facteur. Des différences considérables apparaissent entre les divers lieux : les facteurs autres que les insectes réduisent, à Daoukro, de plus de moitié la production potentielle d'une parcelle. A Béoumi, c'est encore 35,9% de perte de rendement que l'on peut attribuer aux facteurs abiotiques. Par contre, à Gohitafla, les foreurs seuls ont un impact important, la perte imputable aux autres éléments n'atteignant pas 10%.

Les foreurs de l'épi, malgré des niveaux d'attaque importants (près de 5 foreurs en moyenne par épi à Gohitafla et Béoumi, 14 foreurs par épi à Daoukro), n'ont qu'un impact faible sur le rendement : ceci rejoint les conclusions tirées au chapitre précédent.

Les foreurs des tiges ont un rôle essentiel dans les pertes de rendement, et très variable suivant les lieux : à Béoumi, on n'observe aucune destruction de pieds, qui sont tous retrouvés en place à la récolte ; par contre, on constate des épis stériles, et, surtout, plus de 50% de perte attribuable au poids du grain. A Gohitafla et Daoukro près de 30% des pieds sont totalement détruits mais, sur les pieds restant en place, on observe des différences marquées : on ne trouve pas davantage d'épis stériles sur une parcelle attaquée que sur une parcelle protégée à Gohitafla, alors qu'à Daoukro 95,7% des pieds restant ne produisent finalement pas d'épis fertiles. C'est la différence majeure en ce qui concerne les dégâts de foreurs entre Gohitafla et Daoukro, puisque la perte au niveau du poids moyen du grain est assez voisine entre les deux points d'observation.

Figure n°100

Importance respective des divers facteurs affectant le rendement à Daoukro

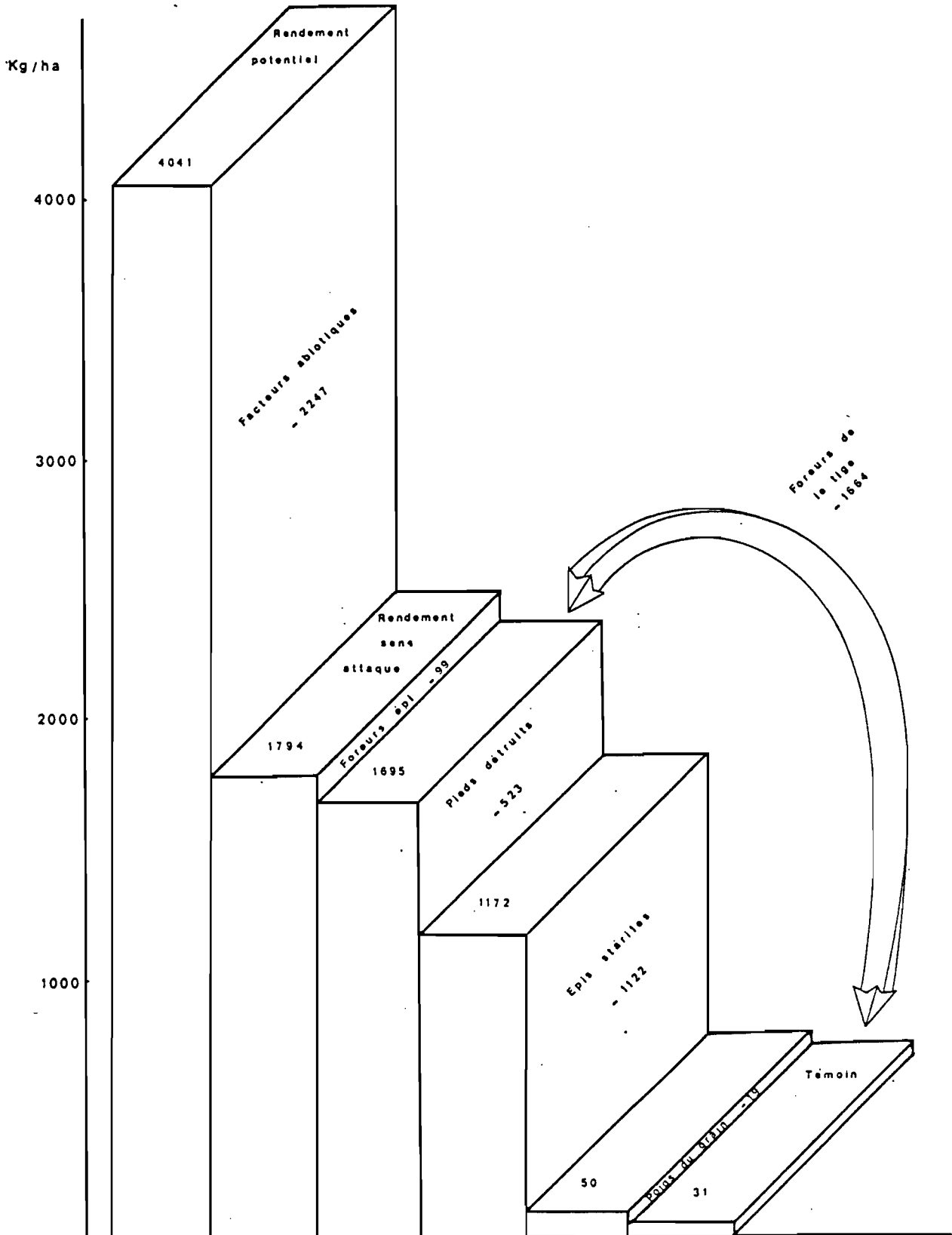


Figure n°101

Importance respective des divers facteurs affectant le rendement à Gohitafia

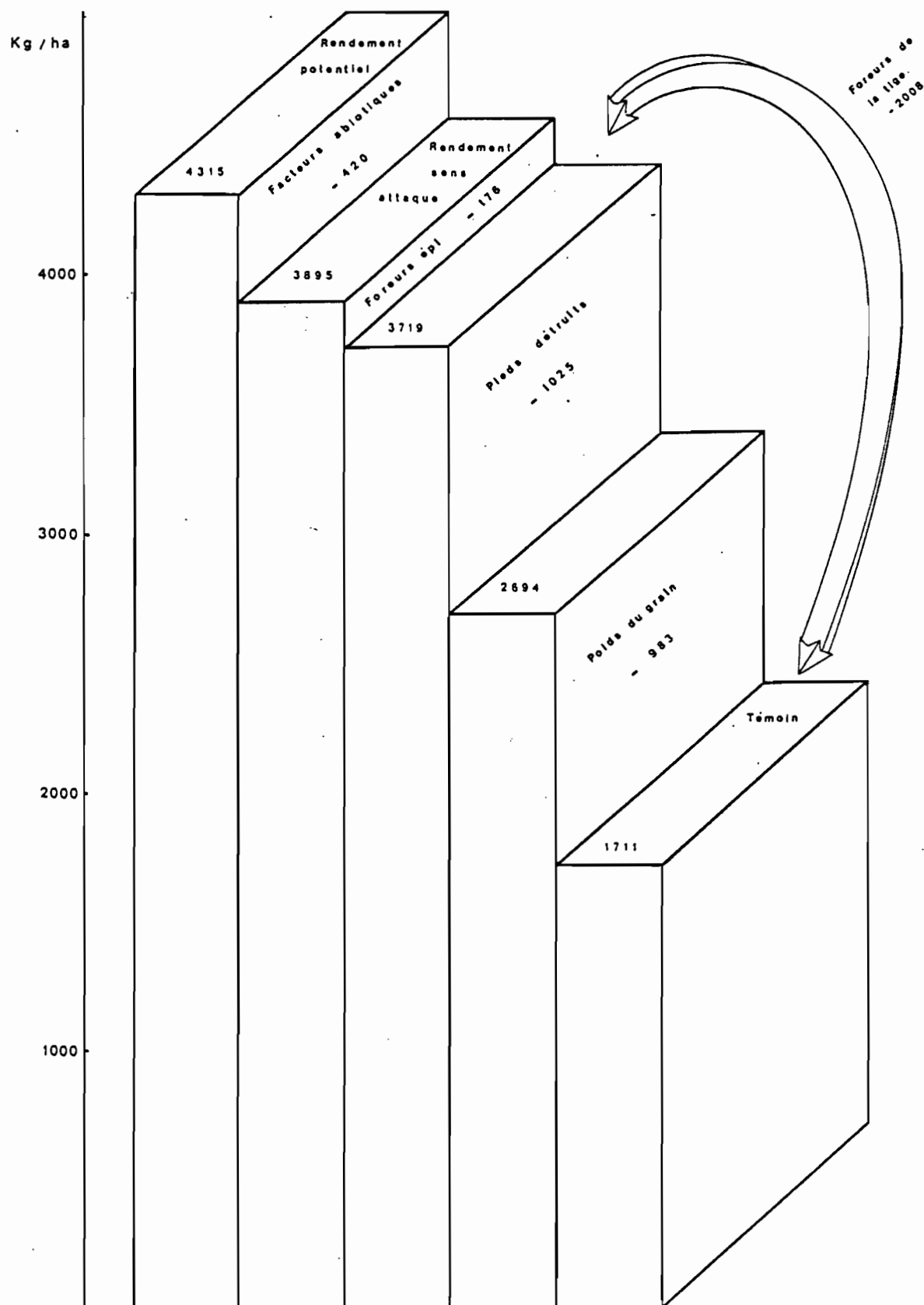


Figure n° 102

Importance respective des divers facteurs affectant le rendement à Béoumi

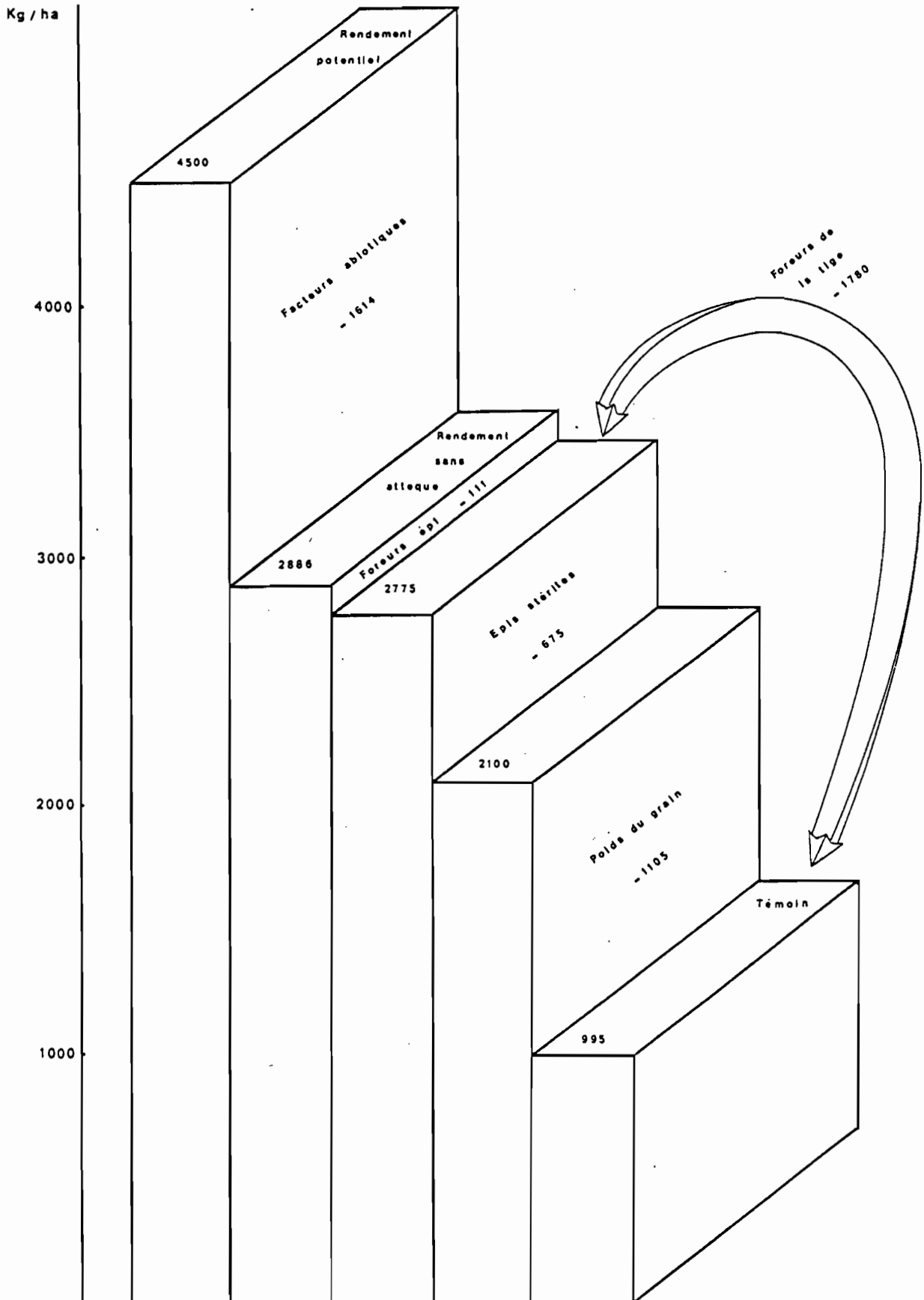
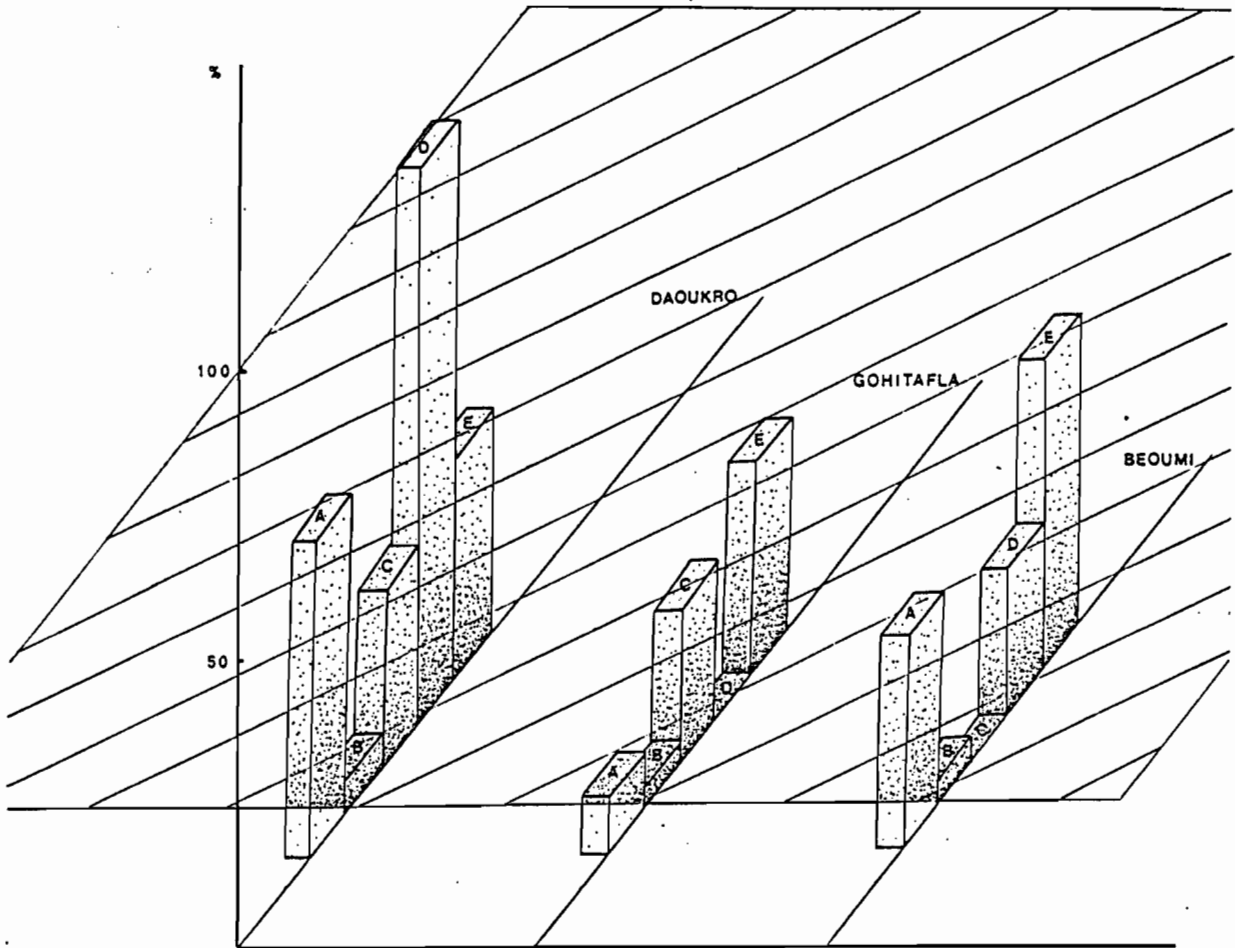


Figure n° 103

Pourcentage de perte de rendement dû à chaque facteur relativement au rendement d'une parcelle qui ne serait pas affectée par le facteur considéré



A : Facteurs abiotiques

D : Epis stériles

B : Foreurs de l'épi

E : Poids du grain

C : Pieds détruits

2.3. Discussion

Peu d'études semblent avoir été réalisées de par le monde en vue d'analyser l'action des foreurs sur les diverses composantes du rendement du maïs : Chiang et al (1954), par exemple, observent les effets de la seconde génération d'Ostrinia nubilalis sur des parcelles de maïs au niveau de la casse des pieds et de la chute d'épis ; ils ne constatent pas d'impact important sur le rendement. Arbuthnot (1958) étudie, pour sa part, la réduction de rendement due à la première génération de Zeadiatrea grandiosella Dyar à l'aide d'infestations artificielles : il note l'importance des coeurs-morts lorsque l'attaque est précoce (60% de coeurs-morts sur du maïs doux avec une infestation de 5 larves par pied au 18e jour après semis contre seulement 12% de coeurs-morts lorsque l'attaque débute 10 jours plus tard ; toutefois des migrations entre plants infestés et plants témoin ont légèrement affecté les résultats) ; il constate en outre une chute importante du rendement des épis fécondés et du nombre d'épis par plant qui passe en moyenne de 1,52 à 0,56 pour 5 larves par pied avec infestation précoce, et de 1,18 à 0,65 pour 5 larves par pied avec infestation plus tardive. Usua (1968), avec les mêmes méthodes qu'Arbuthnot, aboutit à des résultats très équivalents pour Busseola fusca : il ne réalise qu'une seule infestation au 22e jour après semis et observe un accroissement du pourcentage de coeurs-morts lorsque l'attaque devient plus sévère ainsi qu'une chute du poids d'épis par plants, de grain par épi et de grain par plant. Le coeur-mort correspond au symptôme résultant de la destruction du méristème apical, ce qui stoppe la croissance de la plante. En pratique, au moment de la récolte, ces pieds avec coeur-mort peuvent avoir ou bien été complètement détruits si l'attaque a été très précoce ou sévère, ou présenter des épis stériles, ou bien enfin produire simplement moins qu'un pied ne présentant pas ce symptôme.

Pour mieux comprendre comment les insectes viennent perturber les diverses composantes du rendement, il peut être utile d'étudier comment les facteurs climatiques interviennent dans la formation du rendement : en première analyse, il peut en effet sembler logique d'assimiler une attaque de foreurs, qui gêne l'alimentation hydrique et minérale de la plante, à un stress hydrique. Or la relation entre le rendement du maïs et les facteurs climatiques a fait l'objet de recherches plus approfondies que celle concernant les insectes.

Le maïs, plante à croissance déterminée, élabore, nous l'avons vu, ses composantes du rendement à des moments bien précis du cycle : dès l'instant où la

composante est déterminée, elle ne peut plus ni être affectée, ni être améliorée. Si tous les stades du maïs peuvent être affectés par un stress hydrique, il existe une période d'extrême sensibilité qui correspond, classiquement, à une période débutant une vingtaine de jours avant la floraison mâle, et qui se poursuit tout au long de la floraison pour se terminer environ 20 jours après la sortie des fleurs mâles.

La figure n° 104 donne l'exemple, pour une variété française à cycle long, de l'impact sur le rendement d'un déficit hydrique : dans ce cas, l'alimentation de la plante était réduite de moitié par rapport à ses besoins pendant 14 jours, à chaque époque du cycle ; durant la période de très grande sensibilité, le pourcentage de perte de rendement peut atteindre 60% (d'après Robelin, in AGPM, 1981). Des études plus fines ont été réalisées, en particulier par Claassen et Shaw (1970), qui montrent l'impact du stress hydrique non seulement sur le rendement dans son ensemble, mais sur le nombre de grains et le poids des grains (figure n°105, tirée de Gardner et Al d'après Claassen et Shaw) : après avoir permis une croissance correcte des racines par une irrigation en début de cycle, les expérimentateurs ont soumis les plants à des stress hydriques de 4 jours durant lesquels la feuille supérieure la plus développée présentait le symptôme caractéristique d'enroulement dû à la sécheresse (ce qui traduisait une turgescence relative de 85% de celle d'un témoin irrigué) ; l'impact sur le rendement du stress hydrique a atteint son maximum au stade 5 de Hanway (75% des soies visibles), et était important dans les 2 semaines précédant et suivant cette période de la pollinisation. Mais, si l'on examine dans le détail, on constate que c'est le nombre de grains par épi qui est en fait très réduit par la sécheresse au stade 5, alors que le poids des grains issus d'un stress à cette époque a tendance à être supérieur à celui du témoin irrigué. Le poids moyen d'un grain commence à être réduit par le stress hydrique environ 1 semaine après le stade 5 : le stress hydrique réduit alors la translocation des éléments nutritifs et la photosynthèse.

La partie C de la figure montre que la matière photosynthétisée s'accumule dans la tige, l'épi n'ayant plus un rôle de puits assez puissant pour attirer à lui le produit de la photosynthèse en cas de stress hydrique au 5e stade du développement du maïs. Ceci bien que, selon Prioul et Rocher (1983), "en cas de sécheresse la circulation de sève persiste bien longtemps après l'arrêt de la croissance cellulaire et de la photosynthèse". Ces auteurs indiquent également que des

Figure n°104

Influence sur le rendement du maïs d'une restriction
de moitié de son alimentation en eau

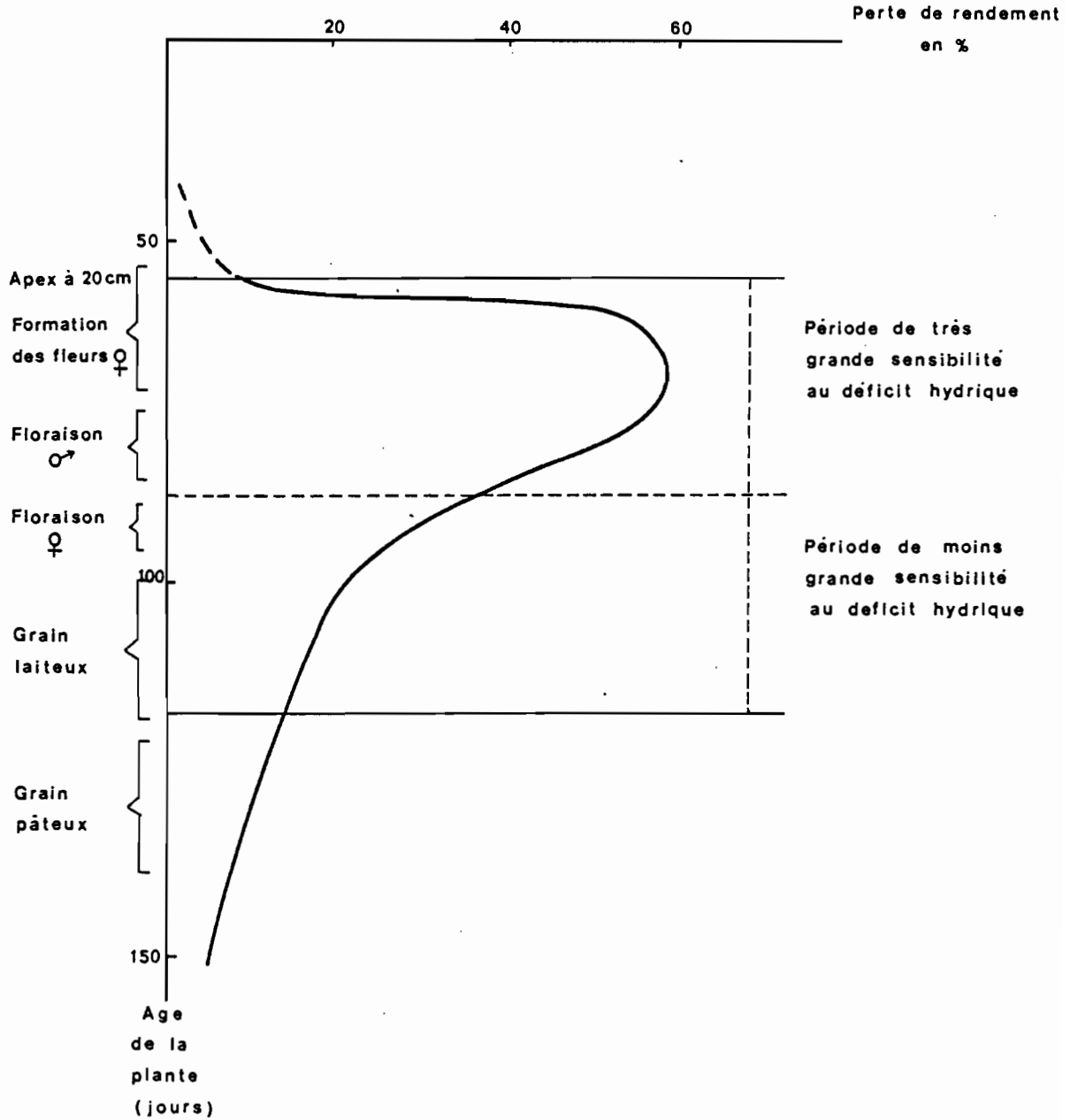
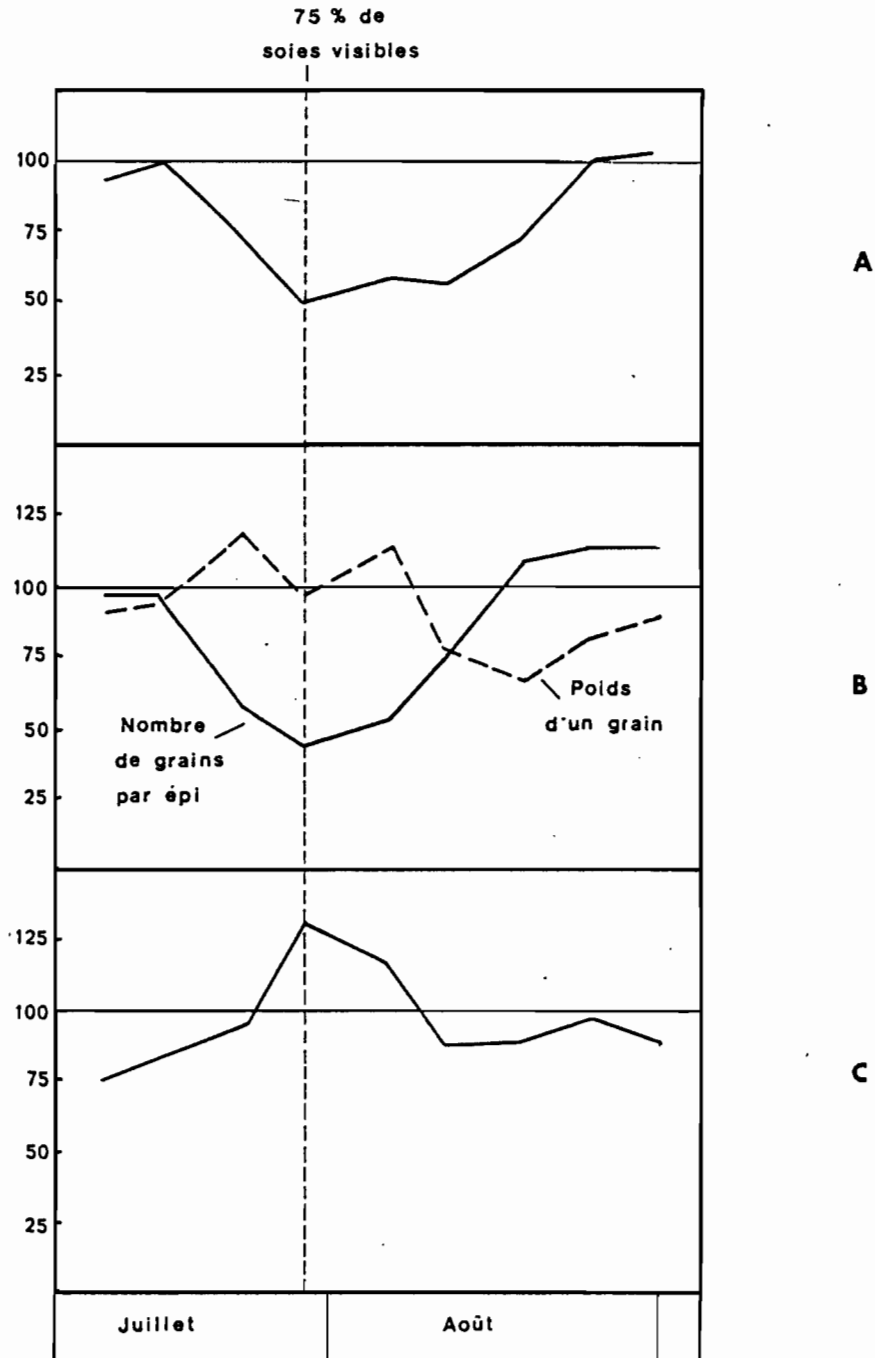


Figure n°105

Effet d'un stress hydrique à différents stades du maïs sur le rendement en grain (A), les composantes du rendement (B), et le poids sec de la tige (C).



phénomènes compensateurs peuvent apparaître qui indiquent que des "réserves à long-terme accumulées dans les tiges, spathes, rafles permettent d'assurer un taux de croissance des grains malgré des baisses considérables de photosynthèse".

Malgré ces avis, qui peuvent paraître légèrement divergents, nous retiendrons qu'un stress hydrique se traduit, suivant les époques, par une diminution du nombre de grains par épi ou par une diminution du poids moyen d'un grain ; que la diminution du nombre de grains est consécutive à un stress survenant dans un délai de 2 semaines avant ou après le stade 5, c'est à dire au moment de la fécondation ou juste après. C'est donc le taux de fécondation qui est vraisemblablement affecté ; le nombre d'ovules par rang peut sans doute être légèrement modifié puisque sa détermination ne s'achève que 8-10 jours avant la floraison. Par contre, le nombre de rangs par épi étant déterminé beaucoup plus tôt ne doit pas être touché : il semble d'ailleurs que ces deux composantes soient en fait surtout affectées par les conditions édaphiques de tout début de cycle (structure du sol, alimentation minérale en azote et oligo-éléments) et par la température de cette période (Maisscope, 1982).

Toutefois, outre la réduction du taux de fécondation, on peut également assister à des avortements de jeunes grains fécondés lorsque la plante souffre (Gay, 1980). La raison majeure reste toutefois la mauvaise fécondation des ovules : cette mauvaise fécondation tire son origine d'un décalage accentué entre l'anthèse et l'apparition des soies : ces dernières, en conditions d'alimentation hydrique correctes, commencent à apparaître dès le début de l'anthèse et sont totalement sorties 6 jours après (sur la variété Dekalb 2F 10) alors que le pollen est émis encore pendant près de 6 jours après ce moment où toutes les soies sont réceptrices ; par contre, un stress hydrique au moment de l'apparition des fleurs mâles se traduit par un retard dans l'apparition des soies alors que l'anthèse s'effectue normalement : seules 20% des soies sont visibles lorsque l'émission de pollen prend fin (Norman et al, 1984). La viabilité du pollen n'est pas affectée par ce stress, mais la quantité de pollen émise est réduite.

Il importe, pour donner une idée complète du rôle du climat sur le nombre de grains, de noter que la température a un impact non négligeable sur le nombre de grains par plante, qui atteint son maximum avec environ 15°C de température minimale et 30°C de température maximale. Le nombre de grains par épi est toutefois peu affecté par la température, qui joue surtout sur le tallage d'épis (Norman et al, 1984).

Quels sont donc les points communs entre un stress hydrique et un stress du aux foreurs du maïs ?

Les attaques de fin de cycle réduisent le poids moyen d'un grain de même qu'un stress hydrique : nous avons vu que, dès le stade 6, commence le remplissage du grain, qui s'effectue de façon très rapide jusqu'au stade 8. Cet accroissement de taille est dû aux produits de la photosynthèse ainsi qu'à des translocations de certains minéraux tels que l'azote et le phosphore dont la teneur diminue dans d'autres parties du plant. Les attaques d'insectes réduisant les flux de sève aboutissent logiquement à une réduction du transport de matière nutritive, et d'autant plus que l'attaque se situe haut dans la tige puisque ce sont les parties se situant au-dessus de l'épi qui contribuent le plus au remplissage du grain.

Par contre, nos résultats n'indiquent aucun impact des attaques d'insectes sur le nombre de grains par épi. Il y a donc là une différence remarquable entre les deux types de stress. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour expliquer cette divergence de comportement de la plante face à deux contraintes qui sembleraient devoir aboutir à des résultats équivalents. Le problème du déterminisme du nombre de grains par épi n'est d'ailleurs pas simple car la pluviométrie, en l'occurrence, ne peut expliquer les différences importantes observées entre les divers lieux : il suffit pour s'en convaincre d'analyser le tableau n° 50 qui révèle que la fécondation est meilleure à Gohitafla, avec une pluviométrie relativement faible, qu'à Daoukro avec une forte pluviométrie. Doit-on attribuer ce fait à un phénomène de coulure attribuable à une trop forte pluviométrie ? La réponse est du ressort de l'agronome plutôt que de l'entomologiste.

La solution du problème restera d'ailleurs peut-être tributaire des connaissances dans le domaine de la physiologie du maïs puisque, ainsi que le souligne F. Blondon (1983), "il existe très peu de connaissances sur les mécanismes physiologiques, aussi bien internes qu'externes, impliqués dans la détermination du nombre de grains par épi".

Tableau n° 50

Dates de floraison, pluviométrie, et nombre de grains par épi.

	DAOUKRO	GOHITAFLA	BEOUMI
Date floraison mâle	13/8	28/8	16/8
Pluviométrie totale entre 20 jours avant et 20 jours après floraison mâle en mm	310,4	79,2	226,6
Nombre de grains moyen par épi	264,5	291,3	344,6

Indépendamment de cet impact des insectes sur le poids des grains, le nombre de pieds totalement détruits et le nombre d'épis stériles croît d'autant plus que l'attaque est plus précoce et plus importante. Dans certains cas, comme à Gohitafla, on n'observe guère plus d'épis stériles à la récolte sur le non-traité que sur l'objet protégé pendant tout le cycle ; par contre, à Daoukro, de nombreux pieds restant à la récolte sur le terrain sont stériles : en réalité les deux composantes peuvent paraître assez difficilement dissociables, car des pieds présentant le symptôme du coeur-mort peuvent très bien être présents jusqu'à la récolte ou être totalement détruits, par exemple par des termites ; toutefois, il semble bien que pratiquement tous les pieds présentant le symptôme du coeur-mort soient détruits à la récolte : ainsi, à Daoukro, au 60e JAL, 40,8% des pieds présentent un coeur-mort sur le témoin ; et, à ce même 60e JAL, 16,6% des pieds ont disparu depuis le démariage, mais il en disparaîtra encore 35,8% entre le 60e jour et la récolte, chiffre donc assez voisin des 40,8% de pieds avec un coeur-mort.

La stérilité des épis peut être simplement attribuée soit à la destruction des épis en formation soit à un retard de croissance du plant qui suffit parfois à conduire à la stérilité : ainsi "les "tardillons" peu développés par rapport aux plantes voisines sont en général stériles et dépourvus d'épis" (AGPM, 1981). Il suffit d'attaques très faibles en début de cycle pour réduire significativement le nombre d'épis : à Béoumi, avec 0,2 ou 0,3 larve par tige en moyenne au 40e JAL, on perd près de 5000 épis à l'hectare par rapport à des parcelles pratiquement non attaquées. La pluviométrie ne semble pas avoir eu un rôle prépondérant sur le nombre d'épis fécondés puisqu'à Gohitafla une densité sur le T2 voisine de celle du T4 à Béoumi fournit 43% d'épis supplémentaires à l'hectare avec une pluviométrie bien inférieure.

On notera également qu'une certaine régulation existe entre le nombre de grains par épi et le poids moyen d'un grain : nous l'avions constaté sur la figure n° 105 et nous le retrouvons dans nos résultats : à Daoukro 0,3062g/grain sur le T2 pour 268 grains/épi, à Gohitafla 0,2831g/grain pour 319 grains/épi quand, à Béoumi, on observe sur l'objet le mieux protégé 0,2367g/grain pour 355,4 grains/épi. Et alors qu'à Béoumi, malgré le nombre de grains par épi très supérieur à celui de Daoukro, on observe un poids à l'épi voisin (84,12g contre 82,12g à Daoukro), c'est à Gohitafla que la balance "nombre de grains-poids d'un grain" semble la mieux équilibrée avec un poids moyen d'épi de 90,25g sur l'objet protégé sur tout le cycle.

Modalité et intensité de l'attaque ne sont pas les seuls éléments explicatifs de l'impact sur les composantes du rendement : selon le foreur en cause, les composantes semblent diversement affectées. Il n'est toutefois pas évident de distinguer tous ces facteurs qui interviennent simultanément sur la plante.

On peut toutefois constater l'absence de pieds détruits à Béoumi où le seul foreur est Eldana saccharina (voir 3e partie, cycle unique 1984) alors qu'à Gohitafla et Daoukro, la présence de Busseola fusca se traduit par la destruction totale de plants.

Le principal foreur à Daoukro, Busseola (1984, cycle unique), est également à l'origine de la stérilité de la quasi-totalité des plants qui n'ont pas été détruits, mais l'on constate également ces phénomènes de stérilité à Béoumi où Eldana seule est en cause. Une attaque précoce violente semble surtout ici la cause essentielle, plus que la nature du foreur.

En ce qui concerne l'impact sur le poids des grains, la logique est respectée entre Gohitafla et Béoumi, où une plus forte attaque de fin de cycle aboutit à une plus forte perte. Par contre à Daoukro, la perte de poids de grain apparaît relativement faible eu égard à l'intensité de l'attaque tout au long du cycle, mais il faut souligner le fait que le très faible nombre d'épis récoltables sur l'objet non-traité de Daoukro n'a peut-être pas permis d'appréhender de façon très correcte cette composante.

Il convient enfin de moduler quelque peu, au moins en ce qui concerne Daoukro, la perte attribuée aux "facteurs abiotiques". Par "facteurs abiotiques" nous entendons en fait tout ce qui n'est pas "foreur". En outre, à Daoukro, on ne peut considérer l'objet le mieux protégé comme indemne de toute attaque puisque jusqu'au 40e jour, le niveau des attaques est supérieur à celui de Béoumi ou de Gohitafla sur l'objet non-traité. En fait, à Daoukro, les insectes présents sur l'objet T2 n'auront guère le temps de s'installer ni de produire autant de dégâts qu'une attaque de même intensité sur un objet non traité, puisque les insectes sont détruits rapidement. Il est toutefois difficile d'apprécier à priori la part de perte de rendement attribuable à ces attaques éphémères : en appliquant l'équation obtenue au chapitre 1, on aboutit à une perte de rendement de 20,30 % sur le

T2 par rapport à une absence totale d'attaque. Sur donc 55% de perte attribuée aux facteurs abiotiques, on doit en réalité considérer qu'environ 20% reviennent aux attaques non contrôlées de foreurs. Quant au reste, nous avons vu que la pluviométrie, meilleure à Daoukro et à Béoumi qu'à Gohitafla, pouvait difficilement expliquer une plus grande stérilité d'épis dans les deux premières localisations. Faut-il attribuer cette stérilité à un travail du sol, une qualité de la levée plus hétérogène et aboutissant à des "tardillons" à Daoukro et Béoumi ? La présence de termitières à Daoukro est-elle également à incriminer ? Les réponses débordent le cadre de l'entomologie agricole, et ne pourront sans doute être apportées qu'à l'issue d'expérimentations agronomiques adéquates.

CONCLUSION

L'étude de la relation qui lie la perte de rendement aux attaques d'insectes n'est guère des plus faciles et conduit souvent les expérimentateurs à des prises de position contradictoires. Chiarappa (1971) écrivait à ce sujet : "Even when much experimental work has been done, the relation ship established between pest incidence and crop-loss will usually be subject to large errors". Abordant plus particulièrement le problème des graminées d'Afrique de l'Ouest, Brenière (1971) expliquait : "la relation entre le dégât agronomique et le volume de l'infestation n'est pas simple. Elle varie selon les insectes en cause (or parfois deux espèces agissent en même temps) et dépend essentiellement de l'état de croissance de la plante au moment des attaques. De plus, le pouvoir de compensation de la plupart des graminées cultivées soit par tallage de remplacement, soit par remplacement des circuits de sève détruits, facilité par la structure primaire des vaisseaux des monocotylédones, est un élément important d'atténuation des pertes qui varie lui aussi selon la période d'attaque et selon d'autres facteurs alimentaires liés au sol et au climat, ou génétiques dépendant du végétal lui-même. Aussi les estimations chiffrées de pertes sont-elles rares et imprécises".

Dans le cas particulier du maïs, Guennelon (1972), à propos d'Ostrinia nubilalis, indiquait : " Il apparaît difficile d'évaluer numériquement la baisse des rendements due à l'attaque naturelle d'O. nubilalis dans les cultures de Maïs. Des comparaisons ont été effectuées par Guennelon et Audemard entre les poids d'épis provenant de pieds sains et d'épis développés sur des pieds de maïs infestés naturellement par la pyrale. Les différences observées n'ont jamais été significatives, mais ce travail n'a pu être réalisé que pour des cultures faiblement infestées (...) Les valeurs obtenues par tous les auteurs sont donc essentiellement variables. D'ailleurs, Neiswander et Herr (1930) concluaient de leurs essais qu'aucune formule spécifique basée sur la population d'insectes par plante ne peut être établie pour mesurer des dommages qui affecteraient toutes les variétés, pour tous les sols, toutes les dates de semis, densités de semis, rotations des cultures et conditions météorologiques. A l'heure actuelle, il est pourtant généralement admis aux U.S.A. qu'une perte d'environ 3% résulte de l'infestation moyenne d'une pyrale par plante (...) Le taux de perte de récolte admis par les chercheurs américains semble beaucoup trop élevé pour être appliqué dans la basse vallée du Rhône, notamment aux cultures d'hybrides doubles soumises aux attaques de 2e génération. Guennelon et Audemard (1960) observent en effet de bons rendements, atteignant 40 quintaux à

l'hectare, dans des cultures d'United 26 semées tardivement en Juin 1956 dans le Gard et portant en moyenne 28 chenilles de pyrale par pied de Maïs".

A propos de l'Afrique de l'Ouest, Brenière (1971) notait :

"Le maïs montre des possibilités remarquables de résistance : de fortes attaques tardives peuvent n'entraîner que de faibles pertes alors que l'essentiel du dégât interviendra sur les jeunes tiges qui auront plus ou moins disparu au moment de la récolte. Au Nigéria, il suffit d'une ou deux larves de Busseola attaquant des plants de 20cm pour entraîner une perte de 25p 100 de récolte". Et il concluait par ces termes : "Ces problèmes ont été fort peu abordés jusqu'à présent. Les travaux les plus développés concernent l'étude de la dynamique des populations d'insectes au cours d'une saison et n'établissent pas de liaison entre la variation de l'infestation, l'âge de la plante et son incidence sur la récolte. Il nous paraît indispensable que des études écologiques approfondies soient développées afin de faire apparaître les répercussions des attaques des foreurs des graminées sur les rendements et de définir une méthodologie d'évaluation des pertes : bases nécessaires à toute entreprise de lutte".

Plus de dix ans après cette déclaration, nous avons donc tenté d'éclaircir quelque peu le problème dans le cas des foreurs du maïs en Côte d'Ivoire. Les résultats obtenus sont intéressants, mais doivent être considérés comme une première approche en vue de cerner une loi complexe. Ce qui apparaît remarquable, au terme de cette première étude, c'est que l'on obtient une loi généralisable à plusieurs localités, dans lesquelles les conditions d'attaque sont fort différentes. Bien que l'impact sur les composantes du rendement soit très différent suivant le stade phénologique de la plante au moment de l'attaque, bien que les foreurs varient suivant la localité (Eldana seule à Bouaké et Béoumi, Eldana et Busseola à Daoukro et Gohitafla), bien que les potentialités de récolte soient très variables suivant les lieux, les ajustements obtenus expliquent 78,4 % de la variation de la perte de rendement si l'on examine le nombre d'insectes par tige, 79, 2 % avec le nombre de trous visibles par tige, et 76,0 % dans le cas du pourcentage d'entre-nœuds attaqués. Les équations obtenues doivent, bien sûr, être testées et sont soumises aux réserves inhérentes à toute régression : elles ne doivent être appliquées que dans les limites d'attaques observées. Nous avons vu toutefois que, sur les 204 couples "attaques-rendement", des niveaux d'attaque et des modalités très variées ont été rencontrées, ce qui peut laisser espérer que les lois établies pourront être appliquées dans pratiquement toutes les conditions.

Nous avons également cherché, au cours de cette étude, à mieux comprendre comment les diverses composantes du rendement étaient affectées par les diverses modalités d'attaque. Divers auteurs ont souligné l'intérêt de ce type d'approche en vue d'établir des modèles précis explicitant la relation "plante-insecte", et permettant de rationaliser les méthodes de lutte (Bardner et Fletcher, 1974, Teng et Gaunt, 1980). Il convient de tendre vers une analyse plus physiologique de l'impact du ravageur sur la plante : parler en termes de jours après levée, comme nous l'avons fait, est commode en pratique lorsque l'on travaille dans des conditions voisines, mais n'est pas généralisable, d'une part, et ne donne, d'autre part, aucune idée de la réaction de la plante en fonction de son stade de développement. Les divers stades de développement de Hanway que nous avons énumérés permettent déjà de donner une échelle basée sur la plante. Toutefois, il faut savoir que cette méthode est parfois critiquée : ainsi, dans le document de l'AGPM (1981), on peut lire : "souvent, les stades végétatifs du maïs sont appréciés en comptant le nombre de feuilles visibles. Cette méthode s'avère peu précise si le dénombrement s'effectue sans précautions. En effet, les premières feuilles, celles de la base, meurent et disparaissent assez rapidement du fait de la croissance de la tige et des perforations que provoquent les racines coronaires dans les gaines. Par ailleurs, cette méthode est biaisée du fait que tous les hybrides ne portent pas le même nombre final de feuilles. Celui-ci augmente, en effet, avec la tardivité".

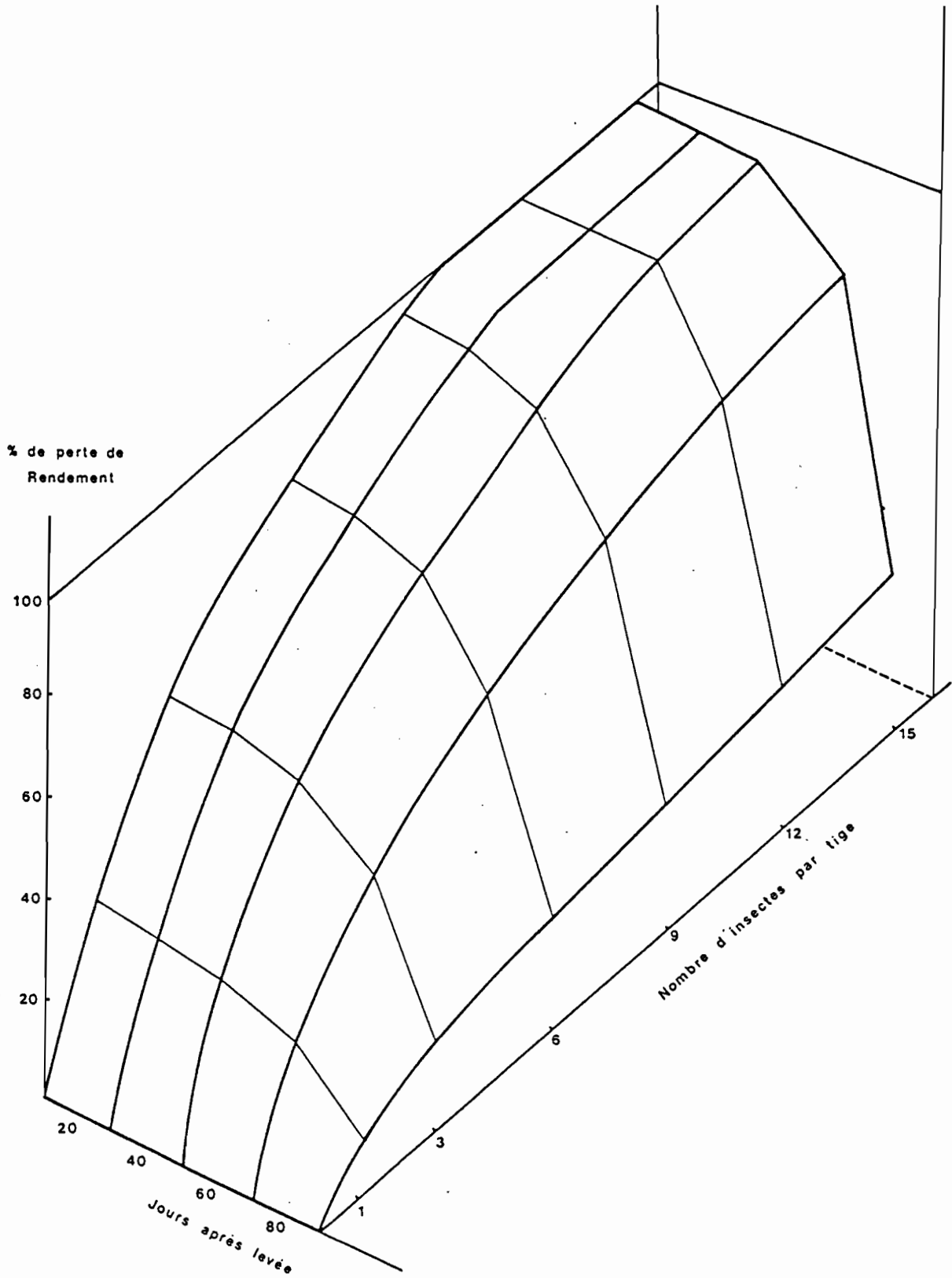
Il est nécessaire, dans le cas des variétés utilisées en Côte d'Ivoire, d'établir des méthodes adéquates pour préciser le stade de développement du maïs, afin de relier l'attaque d'insecte au stade de développement réel, et non plus au nombre de jours après levée. Dans un premier temps, cependant, nous pourrions nous baser sur les stades de Hanway dont nous avons vu qu'ils donnaient une assez bonne image de ce que l'on observait en Côte d'Ivoire. Dès l'instant où cette échelle de "temps physiologique" aura été définie, il sera possible de réaliser une présentation plus parlante de la relation quantitative "plante-insecte" par le moyen de courbes de réponses de surface telles que celle que nous avons représentée sur la figure n°106. Un des axes correspond au nombre d'insectes par tige, que nous avons limité à 15 sur cette figure. Un autre axe représente les dates de relevé, qui seraient avantageusement remplacées par des stades de développement. Et le troisième axe correspond au pourcentage de perte de rendement. C'est donc une représentation dans l'espace de l'équation de régression multiple donnant le pourcentage de perte de rendement en fonction de la date d'attaque : ainsi, par exemple, avec un insecte par tige présent dès le 20^e jour après levée on obtient une perte de rendement

de 32,3 % ; cette perte est encore de 30,1 % si l'attaque débute à 40 JAL et de 24,0 % si elle débute à 60 JAL. Elle n'est plus que de 10,6 % si l'on ne rencontre des foreurs qu'à partir des dissections du 80e JAL.

Il est important toutefois de souligner qu'il s'agit là de la perte potentielle, celle obtenue en comparaison d'une culture totalement indemne d'attaque. En pratique, les méthodes de lutte employées ne permettent pas de réduire à néant les populations de foreurs, et il est alors nécessaire de tenir compte du niveau d'attaque résiduel sur une parcelle protégée pour apprécier correctement la perte entre une parcelle non-traitée et une parcelle traitée.

Figure n° 106

La relation « Attaque - Pourcentage de perte de rendement » à des niveaux d'attaque constants débutant à divers moments du cycle .



CONCLUSION GENERALE

Il y a quelques années (Moyal, 1982), nous avons trouvé et fait déterminer deux foreurs importants du riz irrigué nouveaux pour la Côte d'Ivoire. Dans le cas du maïs, nous n'avons pas rencontré d'autres foreurs que ceux mentionnés par Dabiré (1980) dans sa thèse. Nous avons simplement confirmé que le principal foreur de l'épi était Mussidia nigrivenella Ragonot, dont nous avons donné quelques éléments de morphologie.

Nous connaissons donc désormais les foreurs du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire dont nous avons détaillé la morphologie.

Nous avons suivi, au cours de trois ou quatre années, leur répartition géographique et les fluctuations de leurs populations. Dans un cas, celui de Mussidia nigrivenella Rag., nous avons montré combien ces fluctuations semblaient influencées par l'hygrométrie et la pluviométrie. La biologie de cet insecte a, d'autre part, été étudiée, alors que celle des autres foreurs l'avait été précédemment par divers auteurs.

Des précisions ont été apportées sur le parasitisme des foreurs qui n'avaient jusqu'à présent pas été étudiés (Mussidia nigrivenella Rag. et Busseola fusca (Fuller)).

Des méthodes de lutte ont été testées en vue de combattre ces ravageurs : certaines d'entre elles sont apparues particulièrement efficaces contre les foreurs de la tige, mais aucune contre les foreurs de l'épi.

L'étude de la nuisibilité de ces divers foreurs a toutefois montré que les foreurs de l'épi étaient nettement moins dangereux que les foreurs de la tige. Les équations que nous avons pu établir, reliant la perte de rendement à l'attaque, en témoignent clairement, et permettent dorénavant de prévoir la perte de rendement en maïs qui résultera d'une attaque donnée.

Enfin, l'observation de l'impact de l'attaque des foreurs sur les diverses composantes du rendement, a permis de préciser combien l'action sur la plante variait en fonction des modalités d'attaque : suivant les cas, les plants étaient totalement détruits, ou les épis rendus stériles, ou bien encore, en cas d'attaque tardive, l'essentiel de la perte provenait de la diminution du remplissage des grains.

Toutefois, malgré ces différences, une équation générale reliant la perte à l'attaque a pu être établie, expliquant près de 80 % de la variation du pourcentage de perte de rendement observée.

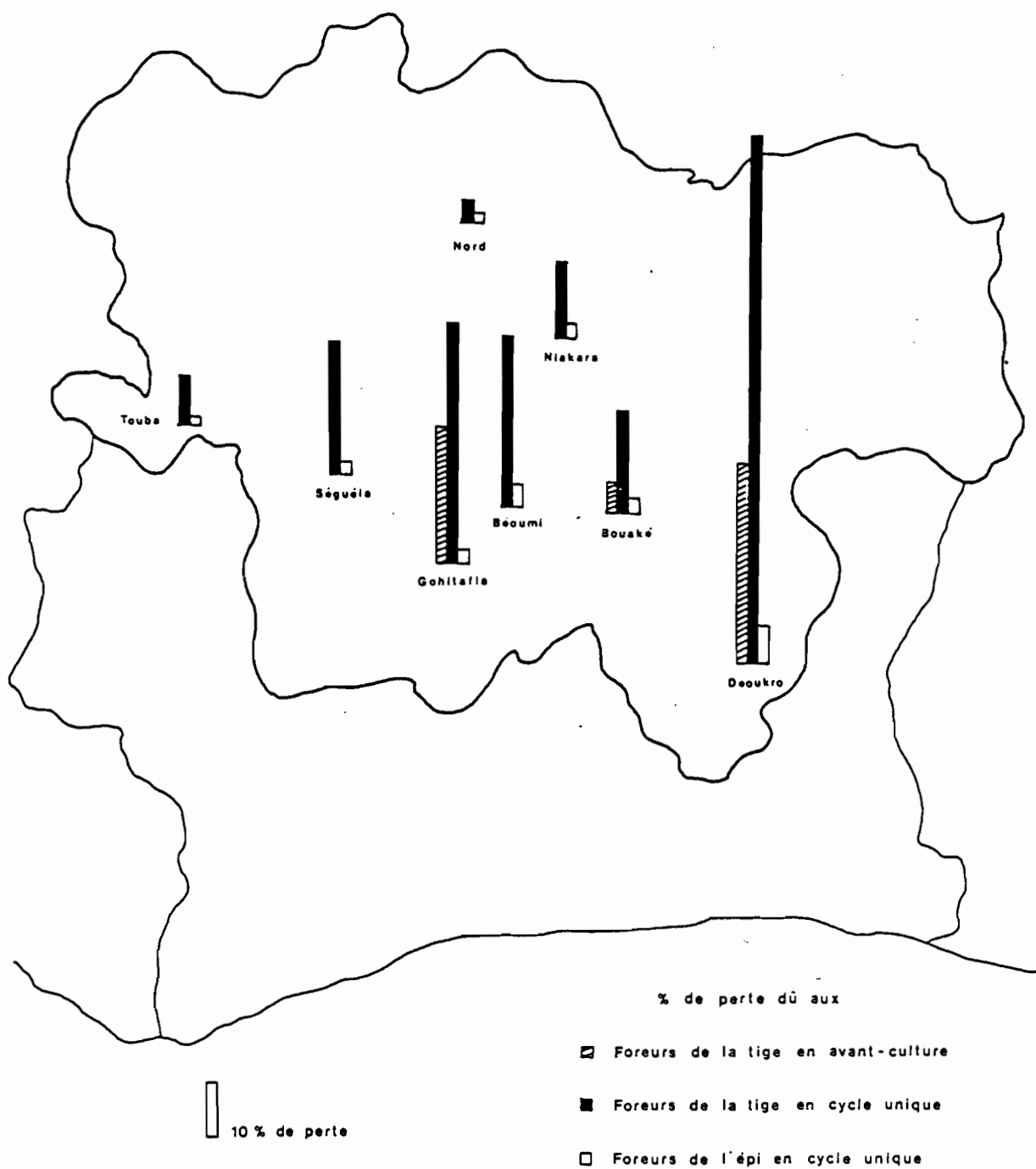
Nous avons représenté sur la figure n° 107, la moyenne, pour les diverses années d'étude, du pourcentage de perte de rendement en maïs imputable aux foreurs. Quelques explications sont nécessaires afin de comprendre ce schéma : Tout d'abord, les résultats obtenus sont issus des équations de régression simple que nous avons établies dans les cas où les relevés parasitaires n'étaient effectués que sur une parcelle non-traitée, et correspondent au pourcentage de perte d'un témoin non-traité par rapport à une protection sur tout le cycle pour les localités où des essais avaient été mis en place. Ensuite nous avons regroupé l'ensemble des points d'observation du nord (Tingrela, Boundiali et Korhogo) ce qui permet d'avoir ainsi une moyenne sur trois années. D'autre part, en ce qui concerne l'avant-culture à Bouaké, nous ne disposions que d'un relevé ; nous y avons ajouté celui réalisé par Dabiré (1980), et le chiffre obtenu correspond donc à la moyenne sur deux années. Enfin, pour ce qui est des foreurs de l'épi, nous avons utilisé deux hypothèses : une densité de 30000 épis Par hectare à la récolte, et un rendement potentiel de 2 tonnes par hectare.

Cette carte est naturellement à considérer comme une première approche puisqu'elle ne porte que sur deux ou trois années d'observation. Elle situe néanmoins le problème "Foreurs du maïs" tel que nous le connaissons au terme de ce mémoire :

- Les pertes à la récolte dues aux foreurs de l'épi sont en général très faibles ; par contre, en ce qui concerne les foreurs de la tige, on observe de fortes pertes en cycle unique en zone centre, mais également vers l'Ouest puisqu'à Séguéla on atteint près de 25 % de perte.

Figure n°107

Le pourcentage de perte de rendement en maïs dû aux foreurs en zone des savanes de Côte d'Ivoire.



- Les pertes sont très faibles dans le nord, inférieures à 10 % dans l'extrême-ouest ; à Bouaké et Niakara elles sont de l'ordre de 15 à 20 % en cycle unique.
- En avant-culture, les pertes sont importantes à Daoukro et Gohitafla, mais semblent excessivement variables d'une année à l'autre.

Il convient de rappeler toutefois qu'il s'agit ici de la perte potentielle due aux insectes, et non pas de la perte par rapport à une parcelle protégée de façon économique, où, bien évidemment, les populations de ravageurs ne pourraient être totalement éradiquées.

C'est d'ailleurs sur cet aspect économique que nous terminerons cet examen du problème "Foreurs du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire".

Nous avons vu, en quatrième partie, que deux traitements, effectués à de bonnes dates avec de la Deltaméthrine à 15g MA/ha, permettaient de gagner 1070 kgs de maïs par hectare à Daoukro, 1281 kgs à Gohitafla et 1250 kgs à Béoumi.

En 1984, le prix toutes taxes, départ Abidjan, de l'insecticide mentionné était de l'ordre de 4 000 Francs CFA* pour un hectare. Il faut ajouter à cette valeur le prix de l'appareil de traitement, du transport, des frais de stockage... Nous n'entrerons pas ici dans ces détails, mais nous nous baserons sur ce qui passe en matière d'herbicide en zone des savanes de Côte d'Ivoire : l'herbicide est vendu au paysan par la Société de Développement, qui prête également le matériel de traitement. Dans le prix de vente de l'herbicide au paysan, sont inclus tous les facteurs mentionnés plus haut. Le résultat est un prix d'environ 20 % supérieur au prix d'achat de l'herbicide par la Société de Développement. Si l'on admet donc ce surcoût de 20 %, le prix de revient pour le paysan d'un traitement à 15g MA/ha de Deltaméthrine était, en 1984, d'environ 4800 F CFA que l'on peut arrondir à 5000 F CFA. Soit pour deux traitements 10 000 F CFA.

*1 Franc CFA = 0,02 Franc Français

Le prix du kilogramme de maïs peut être situé, en moyenne, à 40 F CFA bord champ.

Le coût du traitement insecticide équivaut donc à 250 kgs de maïs (dans le cas d'un traitement manuel ; en traitement motorisé d'autres frais devraient être pris en compte).

Nous n'irons pas plus avant dans ce domaine économique qui n'est, tous comptes faits, pas de notre ressort. Nous voulions simplement donner une idée au lecteur des coûts en jeu.

C'est maintenant aux responsables des divers services agricoles chargés du développement des cultures vivrières, et de leur protection éventuelle, de juger de l'opportunité de combattre ou non les foreurs du maïs en zone des savanes de Côte d'Ivoire.

Souhaitons simplement que les quelques pages qui précèdent leur fournissent une base de réflexion permettant d'orienter efficacement leurs décisions.

BIBLIOGRAPHIE

- A.C.T.A. (1985). Index phytosanitaire - 643 pp.
- ADESIYUN A.A. and AJAYI O. (1980). Control of the sorghum Stem borer, Busseola fusca by partial burning of the stalks. Tropical Pest management, 26(2), pp 113-117.
- AFRIQUE-AGRICULTURE (1984) n° 104 du 01/04/84 p. 45.
- A.G.P.M. (Association Générale des Producteurs de maïs) (1981). Encyclopédie pratique du maïs (par J.Y. BEDORA).
- AITKEN A.D. (1963). A key to the larvae of some species of Phycitinae (Lepidoptera, Pyralidae) associated with stored products, and some related species. Bull. Ent. Res., vol 54, part 2, pp 175-188.
- ANGELINI A., LE RUMEUR C. (1978). Rapport d'entomologie. IDESSA-GERDAT. Département des plantes textiles - Bouaké. pp 81-83.
- ARBUTHNOT K.D., WALTON R.R. and BROOKS J.S. (1958). Reduction of corn yield by first generation Southwestern corn borers. J. econ. entomol. 51, 747-749.
- ASECNA (Association pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) (1979). Le climat de la Côte d'Ivoire. Ministère des travaux publics, des transports, de la construction et de l'urbanisme. Abidjan. pp 15-18.
- ATKINSON P.R. (1980). On the biology, distribution and natural host-plants of Eldana saccharina Walker (Lepidoptera : Pyralidae) J. ent. Soc. Sth. Afr., vol 43, N° 2, pp 171-194.
- AVENARD J.M., ELDIN M., GIRARD G., SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET J.L., ADJANHOOUN E., PERRAUD A. (1971). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Memoires ORSTOM n° 50. 391 pp.
- BANKS C.J. and MACAULEY E.D.M. (1967). Effects of Aphis fabae Scop. and its attendant ants and insect predators on yield of field beans (Vicia faba L.). Ann. appl. Biol., 60, 445-453.
- BARDNER R. and FLETCHER K.E. (1974). Insect infestations and their effects on the growth and yield of field crops : a review. Bull. ent. Res., 64, 141-160.
- BECK S.D. (1965). Resistance of plants to insects. A.Rev. Ent. 10, 207-232.
- BLISS C.I. (1953). Fitting the Negative binomial distribution to biological data. Biometrics, 9, pp 176-200.
- BLONDON F., (1983). Appareils reproducteurs. Apparitions des organes, fécondation, maturation. Agromaïs n° 20, pp. 19-20.

- BOCKHOLT A.J. (1980). Biology and Breeding of Corn - in Biology and Breeding for Resistance to Arthropods and pathogens in Agricultural plants. Harris M.K. ed. pp. 276-282.
- BOSSON G.A. (1983). Etude de la phéromone sexuelle de la mineuse des pousses de l'acajou Hypsipyla robusta Moore : (Lepidoptère : Pyralidae, Phycitinae). Thèse de docteur-ingénieur. Paris - 170 pp.
- BOURGOGNE J. (1951). Ordre des Lepidoptères - in P-P. Grassé, Traité de Zoologie, Tome 10. Masson. PP 174 - 448.
- BOWDEN J. (1976). Stem borer ecology and strategy for control. Ann. appl. Biol. 84, pp 107-111.
- BRADLEY J.D. (1968). Descriptions of two new genera and species of Phycitinae associated with Hypsipyla robusta (Moore) on Meliaceae in Nigeria (Lepidoptera, Pyralidae) Bull. Ent. Res., vol. 57, part 4, pp 605-613.
- BRAZZEL J.R. (1970). Second conference on test methods for resistance in insects of Agricultural importance. Bull. Entom. Soc. Americ., 16(3), pp 147-153.
- BRENIERE J. (1971). Les problèmes des Lépidoptères foreurs des graminées en Afrique de l'Ouest. Ann. Zool. Ecol. anim., 3(3), 287-296.
- BUCHENAU G.W. (1975). Relation ship between yield loss and area under the wheat stem rust and leaf rust progress curves. Phytopathology, 65, 1317-1318.
- BURLEIGH J.R., ROELFS A.P., EVERSMEYER M.G. (1972). Estimating damage caused by puccinia recondita tritici. Phytopathology, 62, 944-946.
- BUYCKX E.J.E. (1962). Précis des maladies et des insectes nuisibles rencontrés sur les plantes cultivées au Congo, au Rwanda et au Burundi. INEAC-708 pp.
- CALLAHAN P.S. (1957a). Oviposition response of the corn earworm to differences in surface texture. J. Kansas Entomol. Soc., 30, 59-63 (1957).
- CALLAHAN P.S. (1957b). Oviposition response of the imago of the corn earworm Heliothis zea (Boddie), to various wavelengths of light. Ann. Entomol. Soc. Am. 50, 444-52 (1957).
- CHABALIER P.F. (1980). Les exportations minérales par le maïs en Côte d'Ivoire et le calcul pratique de la fumure. Rapport IDESSA-DCV. Bouaké. 11 PP.
- CHIANG H.C. (1978). Pest management in Corn. Ann. Rev. Entomol. 23 : pp 101-123.
- CHIARAPPA L. (1971). Crop loss assessment methods. FAO manual. Commonwealth Agricultural bureaux. 40 pp.
- C.I.D.T. (Compagnie Ivoirienne pour le Développement du Textile). (1982 à 84). Rapports annuels d'activité.

- CLAASSEN M.M., SHAW R.H. (1970). Water deficit effects on corn. 2. grain components - Agronomy Journal n° 62, pp 652-655.
- COAKER T.H. (1957). Studies of crop loss following insect attack on cotton in East Africa. 2. Further experiments in Uganda. Bull. Ent. Res., 851-866.
- CORBET A.S., TAMS W.H.T. (1943). Keys for the identification of the Lepidoptera infesting stored food products. Proc. Zool. Soc. (B.), 113, pp 55-148.
- DABIRE L. (1980). Biologie et Ecologie d'Eldana saccharina Walker (Lepidoptera Pyralidae ; Galleriinae) foreur du maïs en Côte d'Ivoire et inventaire des autres Lépidoptères foreurs du maïs. Thèse de Docteur de troisième cycle. Université Pierre et Marie Curie. Paris. 196 pp.
- DAGNELIE P. (1980). Théorie et méthodes statistiques. Presses agronomiques de Gembloux, ASBL. volume 1 : 378 pp et volume 2 : 463 pp.
- DEAY H.O., PATCH L.H., SNELLING R.D. (1949). Loss in yield of Dent corn infested with the August Generation of the European corn borer. J. econ. Entomol., 42, 81-87.
- DSREA (Direction des statistiques rurales et des enquêtes agricoles). (1982). Statistiques Agricoles. Ministère de l'Agriculture des eaux et forêts. p. 59.
- DUERDEN J.C. (1953). Stem-borers of cereal crops at kongwa, Tanganyika, 1950-52. East african Agricultural Journal, 19, pp 105-119.
- DUPLESSIS C., LEA H.A.F. (1943). The maize stalk borer. Bulletin of the department of Agriculture and Forestry, Union of South Africa, n° 238.
- ELIOTT J.M. (1971). Some methods for the statistical Analysis of samples of Benthic invertebrates. Freshwater biological Association. Scientific publication n° 25-148 pp.
- ENTWISTLE P.F. (1972). Pests of cocoa. Longman. 779 pp.
- EVANS J.W. (1952). The injurious insects of the british Commonwealth. London-Commonwealth Institute of Entomology. 242 pp.
- FINNEY D.J. (1971). Probit analysis. 3rd edition. 334 pp. London, Cambridge University Press.
- FONTENAY P. (1980). Rapport annuel. Test-Vivriers. C.I.D.T. Bouaké -Côte d'Ivoire 55 pp.
- FRAENKEL G. (1969). Evaluation of our thoughts on secondary plant substances. Ent. exp. et appl., 12, 473-486.
- FRÖHLICH G. and RODEWALD W. (1970). Pests and diseases of tropical crops and their control. Pergamon Press. 371 pp.
- GARDNER F.P., PEARCE R.B., MITCHELL R.L. (1985). Physiology of crop plants. Iowa State University Press : Ames, 327 pp.

- GAY J.P. (1980). Le cycle du maïs. Cultivar-Special maïs. pp 44-45.
- GHESEQUIERE J. (1923). Contribution à l'étude éthologique des *Laemophloeus*. Rev. Zool. Africaine, 10, 2, pp 216-218.
- GIRLING D.J. (1978). The distribution and biology of *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera : Pyralidae) and its relationship to other stem-borer in Uganda. Bull. Ent. Res. 68(3), pp 471-488.
- GIRLING D.J. (1980). *Eldana saccharina* as a crop pest in Ghana-Tropical Pest Management, 26(2) pp 152-156.
- GREENE G.L. (1971). Economic damage levels of Bean Leaf Roller Population on Snap Beans. J. econ. Entomol., 64, 673-674.
- GRISON P. (1958). L'influence de la plante-hôte sur la fécondité de l'insecte phytophage. Ent. exp. et appl. 1, 73-93.
- HAINZELIN E. (1983). Amélioration variétale du maïs. IDESSA, rapport annuel 1982, Bouaké - 52 pp.
- HAMPSON G.F. (1896). Fauna of British India. Moths. vol. 4 - London. p 89.
- HANWAY J.J. (1963). Growth Stages of Corn (*Zea mays*, L.). Agronomy Journal n° 55, pp 487-492.
- HARRIS K.M. (1962). Lepidopterous stem borers of cereals in Nigeria. Bull. ent. Res. 53, 139-171.
- HEINRICH C. (1956). American Moths of the subfamily Phycitinae. United States National Museum Bulletin n° 207. pp 27-30.
- HENSON A.R., ZUBER M.S., DARRAH L.L., BARRY O., RABIN L.B., WAIS A.C. (1984). Evaluation of an antibiotic factor in Maize silks as a means of corn ear-worm (Lepidoptera, Noctuidae) suppression. J. Econ. Entomol. 77, 487-490.
- HINTON H.E. (1943). The larvae of the Lepidoptera associated with stored products. Bull. Ent. Res., vol 34, pp 163-212.
- HINTON H.E. (1946). On the homology and nomenclature of the setae of lepidopterous larvae, with some notes on the phylogeny of the Lepidoptera. Trans. R. ent. Soc. London, vol 97, pp 1-37.
- HOECHST. Manual for the control of maize stalkborer (*Busseola fusca*). 16 pp.
- HURLOCK E.T. (1959). Recent occurrences of *Mussidia nigrivivella* Rag. (Lepidoptera Phycitidae) on produce imported into Britain. Ent. Mon. Mag., 95, p 128.
- HUSSEY N.W. and PARR W.J. (1963). The effect of glass house red spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) on the yield of cucumbers. J. hort. Sci. 38, 255-263.

- IDESSA (Institut des Savanes). (1982). Variétés de maïs recommandées en Côte d'Ivoire. Ministère de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire. 11 pp.
- INGRAM W.R. (1969). Further studies of crop loss following insect attack on cotton in Uganda. *Bull. Ent. Res.*, 59, 65-76.
- JAMES W.C. (1974). Assessment of plant diseases and losses. *Annual Rev. Phytopathology*. 12, 27-48.
- JAMES W.C., SHIH C.S., HODGSON W.A., and CALLBECK L.C. (1972). The quantitative relationship between late blight of Potato and Loss in Tuber yield. *Phytopathology* 62 : 92-96.
- JANSE A.J.T. (1939). On the structure of lepidopterous larvae, with special reference to the mature larva of *Leto venus* Stoll. *Journal Ent. Soc. S. Africa*; vol 2, pp 165-175.
- JANSE A.J.T. (1941). Contribution to the study of the Phycitinae (Pyralidae, Lep.) part 1. *J. of Entom. Soc. of South Africa* vol 4, pp 134-166.
- JOANNIS J. de (1909). Di un nuovo microlepidottero della colonia Eritrea. (Famiglia Phycitinae, Genera Mussidia). *Bulletino della Societa Entomologica Italiana*, 41, pp 8-13.
- JONES F.G.W., DUNNING R.A., and HUMPHRIES K.P. (1955). The effects of defoliation and loss of stand upon yield of sugar beet. *Ann. Appl. Biol.* 43, 63-70.
- KALSHOVEN L.G.E. (1951). De plagen van de Cultuurgewassen in Indonesie. N.V. Vitgeverij W van Hoeve. pp 435-436.
- KOEHLER P.G. and PIMENTEL D. (1973). Economic injury levels of the alfalfa weevil (Coleoptera : Curculionidae). *Can. Ent.*, 105, 61-74.
- KRANZ J., SCHMUTTERER H., KOCH W. (1977). Diseases, pests and weeds in tropical Crops. Verlag. Berlin - 666 pp.
- KUZNETSOV V.S. and BEBIN S.I. (1965). Agrobiological basis of topping in fodder beans IIV. timiryazev sel'. *Khoz. Akad.* 1, 100-109.
- LABEYRIE V. (1978). Reproduction of insects and coevolution of insects and plants *Ent. exp. et appl.*, 24, 296-304.
- LAMBORN W.A. (1914). The agricultural pests of the Southern Provinces, Nigeria. *Bull. Ent. Res.* vol 5, part 3, pp. 197-214.
- LAVABRE E.M. (1961). Protection des cultures de caféiers, cacaoyers et autres plantes perennes tropicales. IFCC. p. 157.
- LAWANII S.M. (1982). A review of the effects of various agronomic practices on cereal Stem borer population. *Tropical Pest Management*, 28(3), pp 266-276.

- LEBART L., MORINEAU A., FENELON J.P. (1982). Traitement des données statistiques méthodes et programmes. Dunod. 510 pp.
- LEON Y. (1983). Les cultures vivrières et le problème alimentaire de la Côte d'Ivoire. Economie rurale n° 156, 41-46.
- LE PELLEY R.H. (1959). Agricultural insects of East Africa. East Africa High Commission, Nairobi, Kenya, 307 pp.
- LEVINE E., CLEMENT S.L., Mc CARTNEY D.A. (1984). Effect of seedling injury by the stalk borer (Lepidoptera : Noctuidae) on regrowth and yield of Corn. J. econ. Entomol., 77, 167-170.
- LITTLE J.M. et JACKSON HILLS F. (1978). Agricultural experimentation. John Wiley and sons. 350 pp.
- LUCKMANN W. H. (1956). Observations on the European Corn Borer and the Corn Earworm infesting early season plantings of country Gentleman Sweet Corn. J. econ. Entomol., 45, 877.
- MACNAMARA R.S. (1985). The challenges for Sub-Saharan Africa. Sir John Crawford Memorial lecture-Washington D.C. 49 pp.
- MAIS SCOPE (1982). Les composantes du rendement. n° 6, pp 9-14.
- MARCHAND J.L. (1980). Amélioration variétale du maïs - IDESSA, rapport annuel, Bouaké - 86 pp.
- MARCHAND J.L. (1983). Création d'hybrides complexes de maïs en Côte d'Ivoire. Agronomie Tropicale, 38, 2, pp 123-131.
- MAYNE R. (1918). Insectes et autres animaux attaquant les cacaoyers au Congo Belge. Etudes de Biologie Agricole n° 3. London. 80 pp.
- Mc KINLEY K.S. and GEERING Q.A. (1957). Studies of crop loss following insect attack on cotton in East Africa. 1. expériences in Uganda and Tanganyika. Bull. Ent. Res., 48, 833-849.
- METCALF R.L. and LUCKMANN W.H. (1975). Introduction to pest Management. John Wiley and Sons. 585 pp.
- MOORE R.H. (1928). Odorous constituents of the corn plant in their relation to the European corn borer. Proc. Oklahoma Acad., Sci., 8, 16-18 (1928).
- MOYAL P. (1980). Les foreurs du riz irrigué en Côte d'Ivoire. Résultats globaux des dissections effectuées en 1980. Note ORSTOM. BOUAKÉ, 13 pp.
- MOYAL P. (1982). Deux foreurs du riz irrigué nouveaux pour la Côte d'Ivoire : Hydrellia prosternalis Deeming (Diptera, Ephydriidae) et Pachylophus beckeri Curran (Diptera, Chloropidae). Agronomie tropicale, 37 - 3, p 295-305.

- MOYAL P. (1985). Des cas d'intoxication mortelle par l'arille du fruit de Blichia sapida Koenig (Sapindaceae) en Côte d'Ivoire. Bull. Ethnomed. n° 33, pp 67-73.
- MOYAL P. (1986a). Comment limiter les risques d'intoxication des paysans par les pesticides : l'exemple des mesures prises en zone des savanes de Côte d'Ivoire. 5 pp.
A paraître dans Phytoma.
- MOYAL P. (1986b). Le risque lié aux insectes en Agriculture : Importance des dégâts d'insectes sur quelques cultures de la zone des savanes de Côte d'Ivoire. Multigr. ORSTOM 10 pp.
- NAIBO B. (1982). Pyrale et pucerons du maïs. Phytoma. Juillet-Août 1982. n° 340 pp 15-17.
- NORMAN M.J.T., PEARSON C.J., SEARLE P.G.E., (1984). The ecology of tropical food crops. Cambridge university press. pp. 103-119.
- NONVEILLER G. (1984). Catalogue des insectes du Cameroun d'intérêt agricole: Institut pour la protection des plantes. Memoire 15 Beograd. pp 100-101.
- ODJO T.A. (1984). Contribution à l'étude de la biologie et de l'écologie de Sesamia calamistis Hampson (Lepidoptera Noctuidae) en Côte d'Ivoire Centrale.
Thèse de Doctorat de 3e cycle. Université de Paris Sud. 109 pp.
- PHILIPPEAU G. (1982). Théorie des plans d'expérience - Application à l'agronomie Institut technique des Céréales et des Fourrages. Paris. 205 pp.
- POITOUT S. et BUES R. (1970). Elevage de plusieurs espèces de Lepidoptères Noctuidae sur milieu artificiel riche et sur milieu artificiel simplifié. Ann. Zool. Ecol. anim., 1970, 2(1), pp 79-91.
- POLLET A., ROON VAN N., MAURITZ R. (1978). Les ravageurs du maïs en Côte d'Ivoire. Données qualitatives et quantitatives pour la basse Côte. Cah. ORSTOM, ser. Biol., vol. 13, n° 1, pp 71-85.
- POMEROY A.W.J. (1921). Entomology. Nigeria : Ann. Rept. Agric. Dept. Southern Provinces. Lagos. P 21-23.
- POTTER C. (1931). A new moth introduced into England : Mussidia nigriovenella Ragonot (Phycitidae). Ent. Mon. Mag., 1, 16, n° 798 p 258.
- PREVOT P. (1981). Amélioration de la lutte chimique contre les foreurs du riz et du maïs en Côte d'Ivoire. Rapport de fin d'études. Ecole supérieure d'agriculture de Purpan. 128 pp.
- PRIOUL J.L. et ROCHER J.P. (1983). Les produits de la photosynthèse. Transport et stockage. Agromaïs n° 20, pp 25-26.

- QUIDET P., MASMEJEAN T. (1962). Organisation, conduite et interprétation des essais de fumure. Services agronomiques de la société commerciale des Potasses d'Alsace.
- RAGONOT E.L. (1893). Monographie des Phycitinae et Galleriinae. in N.M. Romanoff. Mémoires sur les Lepidoptères, Tome 7. Saint Petersburg. pp 137-144.
- RISBEC J. (1950). La faune entomologique des cultures au Sénégal et au Soudan français. II. Contribution à l'étude des Proctotrupidae. Trav. Lab. Ent. Sect. Soudan. Rech agro. n° 1-2, 639 pp.
- SAUPHANOR B. (1984). Expérimentation entomologique riz - maïs. Rapport d'activité 1983. IDESSA, Bouaké, 45 pp.
- SAXENA K.N. (1978). Role of certain environmental factors in determining the efficiency of host plant selection by an insect. Ent. exp. et appl., 24, 466-476.
- SHARMA K.K., SINGH P. (1980). Studies on the Meliaceae shoot borer Hypsipyla robusta Moore. 2. External morphology of male and female genitalia. Turrialba, vol. 30, n° 3, pp 302-307.
- SKURHAVY V. (1968). Einfluss der Entblätterung und des kartoffel käfer frasses auf die kartoffelernte. Anz. Schädlingssk. 41, 180-188.
- SMITH M.R. (1965). A list of Lepidoptera associated with cocoa in West Africa with notes on identification and biology of species in Ghana. Cocoa Research Institute. Ghana academy of Sciences. Technical Bulletin. n° 9. 68 pp.
- SMITHERS C.N. (1960). Some recent observations on Busséola fusca (Fuller) (Lep. Noctuidae) in southern Rhodesia. Bull. ent. Res., 50, 809-819.
- SORAUER P. (1925). Handbuch der pflanzenkrankheiten. Verlag-Berlin. P. 360.
- SOUTHWOOD T.R.E. (1978). Ecological methods. Chapman and Hall. London. 524 pp.
- STAEUBLI A. (1977). Contribution à l'étude de Cryptophlebia leucotreta (Meyrick) particulièrement au Bénin. Cot. et Fib. Trop., 32, (4), pp 325-349.
- STOFBERG F.J. (1948). Larval structure as a basis for certain identification of false codling moth (Argyroploce leucotreta, Meyr.) larvae. Journal Ent. Soc. S. Africa, vol 11, pp 68-75.
- TAMS W.H.T., BOWDEN J. (1953). A revision of the africa Species of Sesamia Guenée and related genera (Agrotidae - Lepidoptera). Bull. Ent. Res. vol 43, pp 645-678.
- TAMMES P.M.L. (1961). Studies of yield losses. 2. Injury as a limiting factor of yield. Tijdschr. Plziekt. 67, 257-263.
- TAYLOR W.E. and BARDNER R. (1968). Effects of feeding by larval of Phaedon cochleariae (F.) and Plutella maculipennis (Curt.) on the yield of radish and turnip plants. Ann. appl. Biol. 62, 249-254.
- TENG P.S. (1979). Modelling disease-Loss systems in cereals - Proceeding of Symposia. 9th International Congress of Plant Protection. Burgess publish Company. 122-127.

- TENG P.S. and GAUNT. R.E. (1980). Modelling systems of diseases and yield loss in cereals. *Agricultural systems*, 6, 131-154.
- THOMAS J.G., COLE C.L., GREEN L.R. (1972). The alfalfa weevil : its distribution and control. *Texas A and M. Univ. Ent. Notes ; Ent. Agric.* 5, vol 13(2), 5 pp.
- TRAN M. (1981). Reconnaissance des principaux foreurs des tiges du riz, du maïs et de la canne à sucre en Côte d'Ivoire. *Initiations - documentations techniques n° 48. ORSTOM* - 23 pp, 32 fig.
- USUA E.J. (1968). Effects of varying populations of Busseola fusca larvae on the growth and yield of maize. *J. econ. Entomol.* 61, 375-376.
- VAN DER PLANK J.E. (1963). *Plant diseases : epidemic and control.* Academic Press. N.Y. 349 p.
- VARSHALOVICH A.A. (1975). A little known pest of cacao beans. *Zashchita Rastenii* n° 2, 26.
- VIETTE P.E.L. (1953). Descriptions de nouvelles espèces de pyrales de la faune malgache. *Bulletin mensuel de la société linnéenne de Lyon* n° 8.p 208.
- VUILLET A. et J. (1912). Notes sur les insectes nuisibles au karité. *L'Agriculture pratique des pays chauds*, 2, pp 436-448.
- WAIYAKI J.N. (1973). A new moth of cocoa. *FAO Plant Protection Bulletin*, 21,5, pp 117-118.
- WALKER P.T. (1960). The relation between infestation by the stalk borer, Busseola fusca, and yield of maize in East Africa. *Ann. appl. Biol.* 48 (4), 780-786.
- WALKER P.T. (1983). Assessment of crop losses - in *Pest and Vector management in the tropics.* A. youdeowi, M.S. Service. Longman. pp 75-84.
- WHITNEY W.K. (1970). Observation on maize insects at the international Institute of Tropical Agriculture (IITA) Ibadan. *Bulletin of the Entomological Society of Nigeria.* 2(2), pp 146-155.
- WILLIAMS J.R. (1953). The larvae and pupae of some important Lepidoptera *Bull. Ent. Res.*, vol 43, pp 691-701.
- WILSON M.C. (1971). An integrated approach to alfalfa weevil management. In *what's Ahead for Alfalfa.* Proc. 1st Ann. Alfalfa Symp. Iowa State Univ. p 1071.
- WORTHING C.R. (1979). *The Pesticide manual. A world Compendium.* Boots company Limited, Nottingham, England, - 6th. edition - 655 pp.
- WYNIGER R. (1962). *Pests of crops in warm climates and their control.* Acta tropica. Supplementum 7. 555 pp.
- ZACHER F. (1922). *Schädlinge der Nutz pflanzen in West Sudan.* Der Tropenpflanzer, Berlin, 24, n° 7-8 et 9-10 pp 97-108 et 132-142.

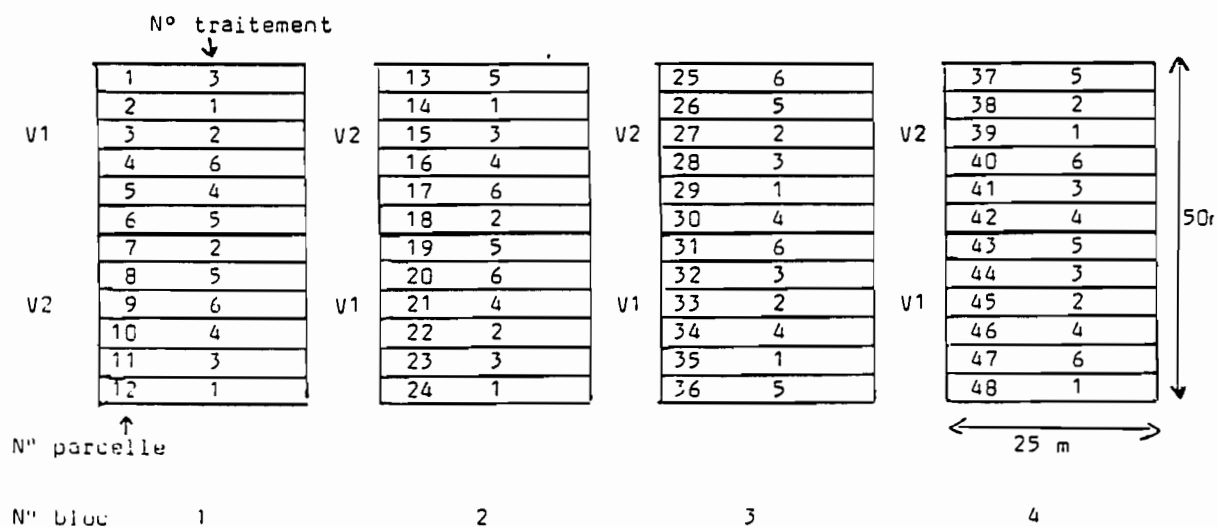
ANNEXES

ANNEXE I

P R O T O C O L EESSAIS DE LUTTE CONTRE LES BORERS DU MAISRESPONSABLE : MOYALOBJECTIF : déterminer l'impact des borers sur le rendement du maïs et tester divers produits de traitement.LOCALISATION : P.O. de DAOUKRO, GOHITAFLA, SEQUELA, TOUBASURFACE : 5 000 m²DISPOSITIF : Split-plot : 1er facteur : variété. 2 niveaux : V1 : CJB

V2 : Ferké 7526

4 répétitions

2^e facteur : traitement insecticide (voir niveaux ci-après). 8 répétitions.SCHEMA D'IMPLANTATION

TRAITEMENTS :

P.O.	D A O U K R O	G O H I T A F L A
TRAITEMENTS		
1	Non-traité	Non-traité
2	Traitement tous les 10 jours avec <u>Decis</u> 12 g MA/ha à partir du 10e jour après levée .	Traitement tous les 10 jours avec <u>Decis</u> 12 g MA/ha à partir du 10e jour après levée.
3	<u>Riocord</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après levée. Dose : 6 kgs pc/ha à chaque épandage.	<u>Decis</u> 15 g MA/ha. 2 traitements au 60e et 75e jour après levée.
-	<u>Volaton</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après levée. Dose : 10 kgs pc/ha à chaque épandage.	<u>Volaton</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après levée. Dose : 10 kgs pc/ha à chaque épandage.
5	<u>Dursban</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après levée. Dose : 8 kgs pc/ha à chaque épandage.	<u>Furadan</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après le levée. Dose : 4 kgs pc/ha à chaque épandage.
é	<u>Decis</u> 15 g MA/ha en pulvérisation. 2 traitements au 20e et 40e jour après levée.	<u>Decis</u> 15 g MA/ha en pulvérisation. 2 traitements au 20e et 40e jour après levée.

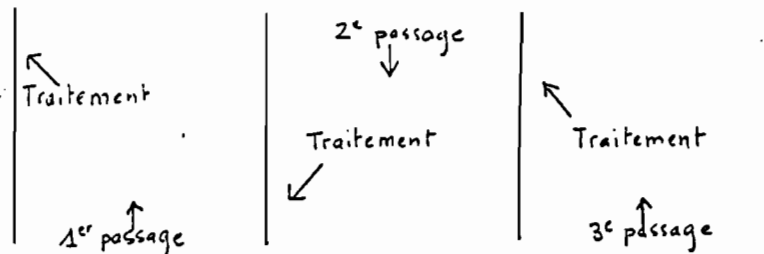
P.O.	S E G U E L A	T O U B A
TRAITEMENTS		
1	Non-traité	Non-traité
2	Traitement tous les 10 jours avec <u>Decis</u> 12 g MA/ha à partir du 10e jour après levée.	Traitement tous les 10 jours avec <u>Decis</u> 12 g MA/ha à partir du 10e jour après levée.
3	<u>Decis</u> 15 g MA/ha au 60e et 75e jour après levée.	<u>Decis</u> 15 g MA/ha au 60e et 75e jour après levée.
4	<u>Riocord</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après levée. Dose = 6 kgs pc/ha à chaque épandage.	<u>Dursban</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après levée. Dose = 8 kgs pc/ha à chaque épandage.
5	<u>Furadan</u> en granulés à épandre dans le cornet au 20e et 40e jour après levée. Dose = 4 kgs pc/ha à chaque épandage.	<u>Sumicidin</u> 75 g MA/ha en pulvérisation au 60 et 75e jour après levée.
6	<u>Fastac</u> 24 g MA/ha en pulvérisation au 20e et 40e jour après levée.	<u>Decis</u> 15 g MA/ha en pulvérisation au 20e et 40e jour après levée.

METHODE DE TRAITEMENT AVEC LES PRODUITS CONCENTRES EMULSIFIABLES

- 1) Quand le maïs mesure moins de 1 mètre de haut.

Traiter avec la lance

Mettre 3 litres d'eau dans le pulvérisateur - Ajouter tout le contenu d'un flacon - bien rincer le flacon . Puis finir de remplir le pulvérisateur avec 11 litres d'eau pour obtenir au total 14 litres. Passer doucement dans chaque rang en traitant bien l'ensemble du pied de maïs. Les 14 litres suffisent pour traiter 1 objet.



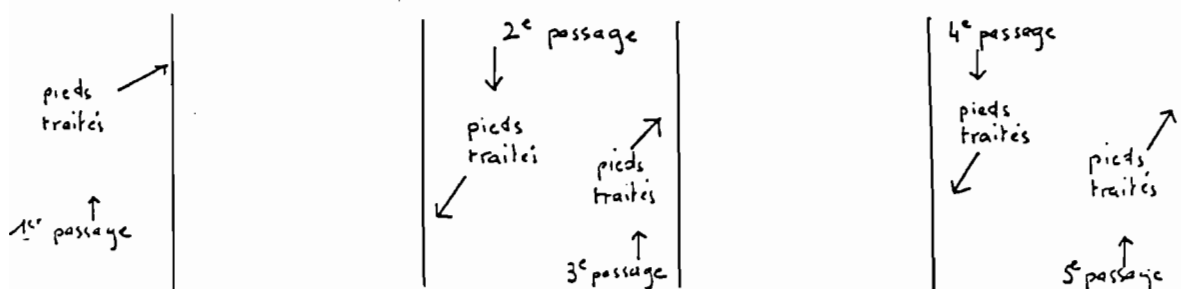
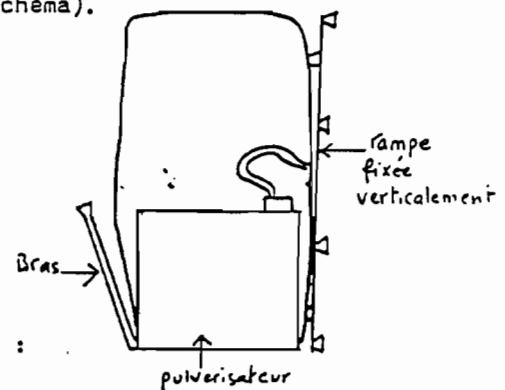
- 2) Dès que le maïs atteint 1 mètre de haut

Enlever la lance et mettre la rampe à 4 jets. Cette rampe doit être montée verticalement du côté droit du bâti (voir schéma).

Pour traiter un objet (par exemple tout T2), il faudra 26 litres d'eau.

Verser la 1ère partie du flacon de produit dans un pulvérisateur rempli à 6 litres d'eau puis compléter jusqu'à 13 litres d'eau. Faire le traitement des 4 première parcelles.

Le traitement doit être effectué comme suit :



Il y a un flacon par objet. Ce flacon est divisé en 2 parties par un trait au feutre. La partie de produit au-dessus du trait est utilisée pour les 4 premières parcelles, la seconde au-dessous du trait pour les 4 autres parcelles. Dans le cas du traitement à la lance, on met le contenu de tout le flacon dans le même pulvérisateur.

CULTURE : préparation du sol :

Labour à plat :

Epandage fumure de fond à la volée, au maximum 10 jours avant le semis.

Reprise du labour pour enfouir l'engrais au Canadien en culture attelée ;
en manuel un léger billonnage (hauteur 10 cm) pourra être fait.

FUMURE : 300 kgs/ha de 10.18.18, complément azoté dès le début de l'apparition de la 1ère fleur mâle : 75 kg/ha d'Urée. Recouvrir par un léger sarclo-buttage en culture attelée.

SEMIS MANUEL : en poquet à 0,20 cm (3 graines par poquet)

en culture attelée : semoir avec disque 20 trous ; 0,80 m entre les lignes.

DATE DE SEMIS : entre le 15 et le 30 Juin.

HERBICIDE : Primagram à 4l/ha appliqué le jour ou le lendemain du semis.

RESEMIS : ne pas effectuer de resemis sauf dans le cas où le nombre de pieds sur la ligne centrale est inférieur à 100 (en ne comptant qu'un pied par poquet. Il doit donc y avoir au moins 100 pieds espacés de 0,20 m sur chaque ligne centrale après démariage).

DÉMARIAGE : 10 - 15 jours après la levée, en sol humide. Ne laisser qu'un plant tous les 0,20 m. On doit avoir au minimum 100 pieds par ligne sur les lignes centrales.

RECOLTE : la ligne centrale servira à l'estimation du rendement.

Une pesée en épis sera effectuée dès la récolte puis une pesée en grains sera effectuée après égrenage.

La récolte doit être effectuée à maturité complète (grains ne se rayant plus à l'ongle) sans attendre trop pour éviter les dégâts d'oiseaux, rongeurs, en cas de verse. Bien prélever les épis pour analyse (voir observations).

OBSERVATIONS :

Chaque parcelle élémentaire comprend 5 lignes. La ligne centrale servira pour

- le comptage de la densité
- le comptage du nombre de pieds apparemment attaqués par les borers (observation des dégâts visibles sans dissection)
- le comptage du nombre de plants attaqués par la maladie de la Bigarrure (encore appelée streak)
- la production.

Les deux lignes entourant la ligne centrale serviront pour les dissections de tiges.

Les deux lignes extérieures sont les bordures.

- Comptage densité :

à effectuer 15 jours après semis, sur la ligne centrale.

A effectuer ensuite après démariage. Il devra rester au moins 100 pieds par ligne après démariage.

- Comptage du nombre de pieds apparemment attaqués par les borers :

sur la ligne centrale on regardera chaque pied et on notera s'il est attaqué par des borers (soit présence de trous visibles sur la tige, soit coeur-mort, soit casse du pied). Ne pas faire de dissection sur cette ligne centrale.

Ces observations auront lieu aux dates suivantes :

20e JAL, 40e JAL, 60e JAL, 80e JAL, 100e JAL.

- Dissections : à effectuer au 20e JAL, 40e JAL, 60e JAL, 80e JAL, 100e JAL.

Pour chaque dissection, on prélèvera 10 pieds par parcelle, sur les 2 lignes entourant la ligne centrale. Ces pieds seront choisis au hasard, (5 pour chaque ligne). Les borers seront identifiés et les fiches seront remplies. Voir explications sur les fiches de dissection ci-après.

- Prélèvement d'épis :

A la récolte, 10 épis seront prélevés par parcelle, à raison de 5 épis sur chaque ligne entourant la ligne centrale.

Ces épis ne seront pas despathés. On réunira ensemble les épis d'un même objet, en précisant le numéro du traitement, le P.O., la date de récolte, la variété. Ces épis seront adressés au responsable d'essai dans les meilleurs délais.

- Récolte :

à maturité, on comptera sur la ligne centrale :
le nombre de pieds total, le nombre de pieds portant épis, le nombre d'épis que l'on récoltera. Une pesée en épis aura lieu, puis, après égrenage, une pesée en grains.

- Une fiche des problèmes qui ont affecté la production de la ligne centrale sera remplie à la récolte.

EXPLICATIONS SUR LES FICHES DE DISSECTION

Le borer principal des tiges de maïs est Eldana.

Deux autres borers peuvent être rencontrés : Sesamia (assez rare) et Busseola (très rare dans le Nord mais peut être fréquent dans le Sud).

La description des chenilles et nymphes est donnée dans l'ouvrage de M. TRAN. Rappel succinct :

Eldana : chenilles gris-foncé à noir
nymphes avec un épaissement dorsal (crête dorsale).

Sesamia : chenilles roses sur le dos, blanchâtre sur le ventre
nymphes sans caractéristique particulière notable.

Busseola : chenilles entièrement blanchâtre
nymphes avec un rétrécissement net au niveau de l'abdomen.

SUR LA FICHE DE DISSECTION :

L1 - L3 : petites chenilles

L4 - L5 : grosses chenilles

S'il y a peu de Sesamia mais beaucoup de Busseola, remplacer Sesamia par Busseola sur la fiche.

S'il y a beaucoup de Sesamia et Busseola, faire une fiche spéciale Busseola du même type que pour Sesamia.

Autres : noter en particulier les attaques de termites.

REMARQUE : les dissections devront être effectuées au jour indiqué sous la direction du responsable du P.O. Ne pas attendre le passage du responsable d'essai.

DENSITE A LA LEVEE

P.O. :

OBSERVATEUR :

DATE DE RELEVÉ :

Bloc	Variété	Traitement	Nombre de pieds levés sur la ligne centrale	Bloc	Variété	Traitement	Nombre de pieds levés sur la ligne centrale
1	CJB	1		3	CJB	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	
	FERKE	1			FERKE	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	
2	CJB	1		4	CJB	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	
	FERKE	1			FERKE	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	

DENSITE APRES DEMARIAGE

P.O. :

OBSERVATEUR :

DATE DE RELEVÉ :

Bloc	Variété	Traitement	Nombre de pieds sur la ligne centrale	Bloc	Variété	Traitement	Nombre de pieds sur la ligne centrale
1	CJB	1		3	CJB	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	
	FERKE	1			FERKE	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	
2	CJB	1		4	CJB	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	
	FERKE	1			FERKE	1	
		2				2	
		3				3	
		4				4	
		5				5	
		6				6	

ATTAQUES DE BORERS
 VISIBLES EXTERIEUREMENT
 SUR LA LIGNE CENTRALE

5 relevés : au 20e, 40e, 60e, 80e, 100 JAL

P.O. :

OBSERVATEUR :

DATE RELEVÉ :

.oc	Relevé 1						Bloc	Relevé 2							
	Variété	Traitement	Total pieds	Nombre de pieds avec coeur-mort	Nombre de pieds avec trous visibles extérieurement	Nombre de pieds cassés		Variété	Traitement	Total pieds	Nombre de pieds avec coeur-mort	Nombre de pieds avec trous visibles	Nombre de pieds cassés		
1	CJB	1					3	CJB	1						
		2							2						
		3							3						
		4							4						
		5							5						
		6							6						
	FERKE	1						FERKE	1						
		2							2						
		3							3						
		4							4						
		5							5						
		6							6						
2	CJB	1					4	CJB	1						
		2							2						
		3							3						
		4							4						
		5							5						
		6							6						
	FERKE	1						FERKE	1						
		2							2						
		3							3						
		4							4						
		5							5						
		6							6						

ATTAQUES DE STREAK
 (MALADIE DES BIGARRURES)

5 relevés, sur la ligne centrale au 20e, 40e, 60e, 80e, 100e JAL.

P.O. :

OBSERVATEUR :

DATE RELEVÉ :

Bloc	Variété	Traitement	Total .. pieds de la ligne	Nombre de pieds avec Streak	Bloc	Variété	Traitement	Total .. pieds de la ligne	Nombre de pieds avec Streak
1	CJB	1			3	CJB	1		
		2					2		
		3					3		
		4					4		
		5					5		
		6					6		
	FERKE	1				FERKE	1		
		2					2		
		3					3		
		4					4		
		5					5		
		6					6		
2	CJB	1			4	CJB	1		
		2					2		
		3					3		
		4					4		
		5					5		
		6					6		
	FERKE	1				FERKE	1		
		2					2		
		3					3		
		4					4		
		5					5		
		6					6		

P R O D U C T I O N
(L I G N E C E N T R A L E)

P.O. :

OBSERVATEUR :

DATE DE RECOLTE :

Bloc	Variété	Traitemen	Nb de pied total sur ligne centrale	Pieds portant épis	Nombre d'épis	Production de la ligne centrale (kgs)	
						EPIS	GRAINS
1	CJB	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
	FERKE	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
2	CJB	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
	FERKE	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					

P R O D U C T I O N
(LIGNE CENTRALE)

P.O. :

OBSERVATEUR :

DATE DE RECOLTE :

Bloc	Variété	Traitements	Nb de pieds total sur ligne centrale	Pieds portant épis	Nombre d'épis	Production de la ligne centrale (kgs)	
						EPIS	GRAINS
3	CJB	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
	FERKE	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
4	CJB	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
	FERKE	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					

PROBLEMES AFFECTANT
LA PRODUCTION DE LA LIGNE
CENTRALE

P.O. :

OBSERVATEUR :

N° parcelle	Termitière		Attaques d'oiseaux sur épis. Nb d'épis attaqués	Attaques d'agoutis. Nombre de pieds atta- qués	Autres atta- que. Nombre de pieds	Verse Nombre de pieds
	Longueur de la termi- tière	Nombre de pieds sur la termi- tière				

ANNEXE II

B L I S

Programme d'ajustement de données à une loi Binomiale négative selon la méthode de Bliss ou à une loi de poisson.

Bibliographie : C.I. Bliss - Fitting the Negative binomial distribution to biological data - Biometrics, 9, 176-200, 1953.

Valeurs apparaissant successivement sur la machine

Moyenne

s^2

d = valeur permettant le choix entre Binomiale négative, Poisson, Normale.

type de loi (BINEG, POISS, NORMAL) (en fait le programme ne permet pas l'ajustement à la loi normale)

Nb ddl CHI 2

puis pour la loi binomiale négative apparaissent :

$k'1$ = valeur du k selon méthode 1 : $k = \frac{\bar{x}^2}{s^2 - \bar{x}}$ (valable pour des échantillons supérieurs à 50 individus).

$z1$ = valeur de $S \left(\frac{Ax}{k'1+x} \right) - N \ln \left(1 + \frac{\bar{x}}{k'1} \right)$

$z2$ = valeur de la formule ci-dessus calculée à l'aide d'un $k'2$

déterminé en faisant $k'1 \pm 0,1$ (+0,1 si $z1 > 0$, -0,1 si $z1 < 0$)

(dans le cas où $k'1 - 0,1 < 0$, on retranche seulement 0,02 de $k'1$)

K-OK ? : on doit avoir $z2$ du signe opposé à $z1$. Si ce n'est pas le cas, prendre un $k'2$ plus éloigné de $k'1$ que la valeur 0,1.

Remarque très importante : la valeur $z2$ doit être le plus proche possible de 0, et du signe opposé à $z1$. Si la valeur de $z2$ en valeur absolue est élevée l'estimation de k n'est pas bonne.

Si K non OK \rightarrow nouveau $z2$ apparaît, correspondant au $k'2$ choisi.

$k'3$ calculé par interpolation entre $k'1$ et $k'2$

$z3$ calculé à partir de $k'3$

R : estimé par interpolation entre $k'1$ et $k'3$ si $z1$ et $z3$ sont de signe contraire ou $k'3$ et $k'2$ si $z1$ et $z3$ sont de même signe

$z4$ tiré à partir de $k'4$, lequel est calculé à partir de $R' \pm 0,01$ par rapport à R , à l'opposé de $k'3$

k final : estimation du maximum de vraisemblance pour k.

Ensuite apparaissent les valeurs des fréquences calculées, puis le CHI 2.

Tableau des valeurs apparaissant

	Moyenne
	s2
	d
	ddl CHI 2
pour Bineg	k'1
	z1
	z2
	K OK ? N → Nouveau Z2
	$k'3 \leftarrow \begin{array}{l} 0 \\ \downarrow \end{array}$
	z3
	R
	z4
	k final
	Calc
	CHI 2

Programme BLIS

01	LBL BLIS CLRG ΣREG 70 CF 01 CF 02 CF 03 CF 04 CF 05 CF 06 CF 08 CF 09 NB CLASS : PROMPT STO 46 21 STO 21	/ STO 44 MOY = ARCLX AVIEW STOP RCL 42 * RCL 43 - CHS RCL 70 1 - /		X > Y ? GTO 62
17	LBL 01 1 ST+00 GTO 02	STO 45 S2 = ARCLX AVIEW STOP RCL 70 1 - STO 71 RCL 45 RCL 71 * RCL 44 /		114 LBL 60 NORMAL PROMPT RCL 46 2 - DDL CHI = ARCLX AVIEW STOP GTO 70
21	LBL 02 X= PROMPT STO IND 00 GTO 03	STO 72 2 * SQRT RCL 71 2 * 1 - SQRT - STO 73 D = ARCLX AVIEW STOP RCL 73 - 1,96 X > Y ? GTO 60 1,96 RCL 73 X > Y ? GTO 61 RCL 73 ABS STO 73 RCL 73 1,96		125 LBL 61 BINEG PROMPT GTO 64
26	LBL 03 1 ST+21 GTO 04	100		129 LBL 62 POISS PROMPT GTO 65
30	LBL 04 F= PROMPT STO IND 21 Σ+ GTO 05			133 LBL 64 SF 09 RCL 45 RCL 44 - RCL 44 X ↗ 2 / 1/X K = ARCLX AVIEW STOP STO 47 GTO 51
36	LBL 05 RCL IND 00 RCL IND 21 * ST+42 RCL IND 00 X ↗ 2 RCL IND 21 * ST+43 RCL 75 RCL 46 X = Y ? GTO 06 GTO 01			148 LBL 51 0 STO 67 STO 52 46 STO 55 56 STO 56 62 STO 62 90 STO 90 GTO 90
51	LBL 06 RCL 42 RCL 70			161 LBL 90 1 ST+55

Programme BLIS (suite)

	ST+56	/	RTN
	ST+62	1/X	
	ST+90	ST+52	271 LBL 44
	RCL 44	RCL 21	0,1
	RCL IND 55	RCL 53	-
	/	X = Y ?	RTN
	1	GTO 09	
	+	GTO 07	276 LBL 92
	LN		K OK ?
	RCL 70	225 LBL 09	PROMPT
	*	RCL IND 62	O=1, N=2
	STO IND 62	RCL 52	PROMPT
	GTO 11	-	1
177	LBL 11	CHS	X = Y ?
	1	STO IND 56	XEQ 56
	ST+67	RCL IND 56	XEQ 55
	0	Z =	
	STO 00	ARCLX	285 LBL 55
	21	AVIEW	AUTR K ?
	STO 21	STOP	PROMPT
	RCL 46	0	STO 48
	21	STO 52	1
	+	GTO IND 90	ST-55
	STO 53		ST-56
	GTO 53	239 LBL 91	ST-62
		RCL IND 56	ST-90
		0	ST-67
189	LBL 53	X > Y ?	GTO 90
	RCL IND 53	GTO 95	
	0	SFO 1	296 LBL 56
	X = Y ?	GTO 95	XEQ 12
	GTO 52		1
	GTO 54	246 LBL 95	ST+55
		RCL IND 55	RCL 61
195	LBL 52	FS ? 01	STO IND 55
	1	XEQ 42	1
	ST-53	XEQ 44	ST-55
	GTO 53	STO 67	GTO 90
		RCL 67	
199	LBL 54	0	305 LBL 12
	1	X > Y ?	RCL 48
	ST-53	XEQ 63	STO 68
	RCL 70	1	RCL 47
	STO 51	ST+55	STO 69
	GTO 07	RCL 67	GTO 45
		STO IND 55	
205	LBL 07	1	311 LBL 45
	1	ST-55	RCL 68
	ST+00	GTO 90	RCL 69
	ST+21		-
	GTO 08	263 LBL 63	RCL 57
		0,08	CHS
210	LBL 08	ST+67	*
	RCL IND 21	RTN	STO 61
	ST-51		RCL 58
	RCL IND 00	267 LBL 42	RCL 57
	RCL IND 55	0,2	-
	+	+	STO 76
	RCL 51	CF 01	RCL 76

Programme BLIS (suite)

	RCL 61 / 1/X RCL 69 + STO 61 FS ? 01 GTO 49 RCL 61 K = ARCLX AVIEW STOP RTN LBL 93 RCL 57 RCL 59 * STO 68 RCL 68 0 X > Y ? GTO 96 GTO 97		ST+61 GTO 48		STO 00 21 STO 21 GTO 13
		382	LBL 48 1 ST+55 RCL 61 STO IND 55 1 ST-55 GTO 90	439	LBL 13 1 ST+00 GTO 14
		390	LBL 94 SF 01 RCL IND 55 STO 68 RCL 49 STO 69 RCL 59 STO 57 RCL 60 STO 58 XEQ 45 GTO 49	443	LBL 14 RCL 00 1 - STO 55 RCL 55 0 X = Y ? GTO 16 GTO 15
348	LBL 96 RCL IND 55 STO 68 RCL 59 STO 58 XEQ 45 RCL 61 RCL IND 55 X > Y ? GTO 46 GTO 47	402	LBL 49 RCL 61 K FINAL = ARCLX AVIEW STOP CF 01 0 STO 76 STO 65 STO 66 STO 67 STO 68 STO 69 GTO 50	453	LBL 15 RCL 55 1 - RCL 61 + RCL 55 / STO 64 RCL 63 * STO 65 FS ? 01 GTO 26 RCL IND 55 RCL 65 * STO IND 00 RCL 00 RCL 46 X = Y ? GTO 17 GTO 13
359	LBL 97 RCL IND 55 STO 68 RCL 58 STO 57 RCL 59 STO 58 RCL 48 STO 69 XEQ 45 RCL 61 RCL IND 55 X > Y ? GTO 46 GTO 47	417	LBL 50 RCL 44 RCL 61 / 1 + RCL 61 CHS Y ↗ X STO 62 RCL 61 RCL 44 + RCL 44 / 1/X STO 63 0	476	LBL 16 RCL 62 STO IND 00 GTO 13
374	LBL 46 0,01 ST-61 GTO 48 LBL 47 0,01			480	LBL 65 0 STO 00 SF 08 GTO 66
				485	LBL 66 1 ST+00

Programme BLIS (suite)

	GTO 75	542	LBL 33	593	LBL 24
489	LBL 75		SF 03		ST+67
	SF 04		FS ? 02		ST+69
	RCL 44		GTO 36		RCL 69
	CHS		GTO 35		0,999
	E ↗ X	547.	LBL 35		$X \leq Y$
	STO 74		RCL 77		GTO 25
	RCL IND 00		ST+78		FS ? 04
	Y ↗ X		RCL 00		GTO 66
	RCL IND 00		STO 79	603	GTO 13
	FACT		SF 02		LBL 25
	/		GTO 34		RCL 67
	RCL 74	554	LBL 36		RCL 70
	*		RCL 77		*
	FS ? 05		ST+78		EFF SUP =
	GTO 24		GTO 34		ARCLX
	STO IND 00	558	LBL 20		AVIEW
	RCL 00		CF 02		STOP
	RCL 46		0		STO 50
	X = Y ?		STO 68		RCL 79
	GTO 17		STO 69		RCL 46
	GTO 66		GTO 21		X = y ?
510	LBL 71	564	LBL 21	607	GTO 28
	SF 05		1		GTO 43
	GTO 66		ST+68		LBL 43
513	LBL 17		GTO 22		RCL 78
	0	568	LBL 22		STO IND 79
	STO 00		RCL IND 68		RCL 79
	GTO 18		ST+69		21
517	LBL 18		RCL 68		+
	1		RCL 46		STO 81
	ST+00		X = Y ?		RCL 81
	GTO 19		GTO 27		STO 80
521	LBL 19	576	GTO 21		RCL 46
	RCL IND 00		LBL 27		21
	RCL 70		RCL 69		+
	*		0,999	621	STO 43
	STO 77		$X \leq Y ?$		GTO 37
	RCL 77		GTO A		LBL 37
	CALC =		GTO 23		1
	ARCLX	582	LBL A		ST+80
	AVIEW		FS ? 04		RCL IND 80
	STOP		GTO 43		ST+IND 81
	RCL 77		GTO 23		RCL 43
	1	586	LBL 23		RCL 80
	X > Y ?		FS ? 04		X = Y ?
	GTO 33		GTO 71		GTO 28
	GTO 34		RCL IND 55	631	GTO 37
536	LBL 34		STO 66		LBL 26
	RCL 00		SF 01		RCL 66
	RCL 46		GTO 13		RCL 65
	X = Y ?				*
	GTO 20				STO 66
	GTO 18				GTO 24
				637	LBL 28

Programme BLIS suite

	RCL 46		/
	1		STO IND 00
	-		GTO 39
	STO 47		
	FS ? 03	696	LBL 39
	GTO 41		RCL 50
	GTO 40		ST+IND 00
645	LBL 41		RTN
	RCL 79	700	LBL 32
	STO 46		CF 03
	RCL 46		RCL 57
	1		CHI 2 =
	-		ARCLX
	STO 47		AVIEW
	GTO 40		STOP
			CF 04
653	LBL 40		FS ? 09
	CF 01		GTO 67
	0		FS ? 08
	STO 00		GTO 68
	STO 57		GTO 70
	21		
	STO 21	713	LBL 67
	GTO 29		RCL 46
			3
661	LBL 29		-
	1		DDL CHI =
	ST+00		ARCLX
	ST+21		AVIEW
	GTO 30		STOP
			CF 09
666	LBL 30		GTO 70
	RCL IND 00		
	RCL 70	723	LBL 68
	*		RCL 46
	STO IND 00		2
	RCL 00		-
	RCL 46		DDL CHI =
	X = Y ?		ARCLX
	XEQ 31		AVIEW
	RCL IND 21		STOP
	RCL IND 00		CF 08
	-		GTO 70
	X ↗ 2		
	RCL IND 00	733	LBL 70
	/		BEEP
			STOP
	ST+57		END
	RCL 46		
	X = Y ?		
	GTO 32		
	GTO 29		
686	LBL 31		
	FS ? 03		
	GTO 38		
	GTO 39		
690	LBL 38		
	RCL IND 00		
	RCL 70		

LBL TRANS

01	LBL TRANS CLRG CF03 CF04 CF05 CF06 CF07 CF08 CF09	56	LBL 02 0 STO 28 1 ST + 00 RCL 30 RCL 35 / STO 07 ST + 01 X ↗ 2 ST + 02 SDEV X ↗ 2 STO 08 ST + 03 X ↗ 2 ST + 04 RCL 07 RCL 08 * ST + 05 RCL 00 RCL 15 X = Y ? GTO 03 CL ξ GTO 01		RCL 00 / RCL 04 - CHS STO 03 RCL 01 RCL 03 * STO 03 RCL 06 RCL 03 / SQRT R = ARCLX AVIEW STOP RCL 08 RCL 01 / B = ARCLX AVIEW STOP RCL 09 * RCL 10 - CHS A = ARCLX AVIEW STOP RCL 15 2 - DDL COR = ARCLX AVIEW STOP S=1, NS = 2 PROMPT S ? PROMPT 1 X = Y ? GTO 42 GTO 25
10	LBL 39 {REG 30 CORM*S2 PROMPT 38 STO 38 NB TRAIT = PROMPT STO 15 NBVAL/MOY = PROMPT STO 27 FS ? 03 GTO B GTO A				
25	LBL A 1 ST + 38 X = PROMPT STOIND 38 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 38 X = Y ? GTO B GTO A	84	LBL 03 RCL 01 RCL 03 * RCL 00 / RCL 05 - CHS STO 08 X ↗ 2 STO 06 RCL 01 RCL 00 / STO 09 RCL 03 RCL 00 / STO 10 RCL 01 X ↗ 2 RCL 00 / RCL 02 - CHS STO 01 RCL 03 X ↗ 2		
40	LBL B CF03 38 STO 38 GTO 01				
45	LBL 01 1 ST + 38 ST + 28 RCL IND 38 ξ + RCL 27 RCL 28 X = Y ? GTO 02 GTO 01				
				163	LBL 36 TAYLOR PROMPT CL ξ 38 STO 38 GTO 37
				170	LBL 37

LBL TRANS suite

	0		1		285
	STO IND 98		STO 01		LBL 11
	1		CL \bar{z}		TRANS =NO
	ST + 98		GTO 08		PROMPT
	RCL 98	233	LBL 08		GTO 25
	RCL 38		1		
	X = Y ?		ST + 01	289	LBL 12
	GTO 04		RCL IND 01		TR = SQR
	GTO 37		+		PROMPT
180	LBL 04		RCL 00		GTO 14
	REG 30		RCL 01		
	NB TRAIT =		X = Y ?	293	LBL 13
	PROMPT		GTO 38		TR = LOG
	1		GTO 08		PROMPT
	+				GTO 14
	STO 00	243	LBL 38	297	LBL 14
	1		SDEV		38
	STO 01		FS ? 00		STO 38
	15		GTO 35		NB TRAIT =
	STO 15		GTO 10		PROMPT
	NB VAL/MOY =	248	LBL 10		STO 20
	PROMPT		STO 02		NB VAL/MOY=
	STO 37		15		PROMPT
	0		STO 01		STO 37
	STO 36		RCL 00		SQ=1, LOG=2
196	LBL 05		1		PROMPT
	1		-		TRANS = ?
	ST + 36		15		PROMPT
	ST + 38		+		1
	RCL IND 38		STO 00		X = Y ?
	+		SFOO		GTO 15
	RCL 37		CL \bar{z}		GTO 16
	RCL 36		GTO 08		
	X = Y ?			314	LBL 15
	GTO 06				R1,R+.5=2,R+1,3
	GTO 05	261	LBL 35		PROMPT
			STO 03		TRANS = ?
207	LBL 06		RCL 02		PROMPT
	1		/		1
	ST + 01		2		X = Y
	ST + 15		/		GTO 17
	SDEV		1		GTO 50
	X / 2		-		
	LOG		CHS	323	LBL 50
	STO IND 15		COEF =		TRANS = ?
	RCL 30		ARCLX		PROMPT
	RCL 35		AVIEW		2
	/		CFOO		X = Y ?
	LOG		STOP		GTO 18
	STO IND 01		ABS		GTO 19
	RCL 01		STO 10		
	RCL 00		0.74	330	LBL 17
	X = Y ?		X \nearrow Y		SFO4
	GTO 07		GTO 11		1
	CL \bar{z}		RCL 10		ST+38
	0		0.25		RCL IND 38
	STO 36		X \nearrow Y		SQRT
	GTO 05		GTO 12		STO IND 38
228	LBL 07		GTO 13		RCL 20

LBL TRANS suite

	RCL 37 * 38 + RCL 38 X = Y ? GTO 38 GTO 17		2 X = Y GTO 21 GTO 22		450 LBL 38 SF03 38 STO 38 0 STO 98 GTO 41
346	LBL 18 SF05 1 ST + 38 RCL IND 38 0.5 + SQRT STO IND 38 RCL 20 RCL 37 * 38 + RCL 38 X = y ? GTO 38 GTO 18	398	LBL 20 SF07 1 ST+38 RCL IND 38 LOG STO IND 38 RCL 20 RCL 37 * 38 + RCL 38 X = Y GTO 38 GTO 20		457 LBL 41 0 STO IND 98 1 ST+98 RCL 98 RCL 38 X = y ? GTO 39 GTO 41
364	LBL 19 SF 06 1 ST+38 RCL IND 38 1 + SQRT STO IND 38 RCL 20 RCL 37 * 38 + RCL 38 X = Y GTO 38 GTO 19	414	LBL 21 SF08 1 ST+38 RCL IND 38 1 + LOG STO IND 38 RCL 20 RCL 37 * 38 + RCL 38 X = Y GTO 38 GTO 21		467 LBL 42 RETR=1,NO=2 PROMPT RETR ? PROMPT 1 X = Y GTO 43 GTO 36
382	LBL 16 L1,L+1,2,L+10,3 PROMPT TRANS = ? PROMPT 1 X = Y GTO 20 GTO 51	432	LBL 22 SF09 1 ST+38 RCL IND 38 10 + LOG STO IND 38 RCL 20 RCL 37 * 38 + RCL 38 X = Y GTO 38 GTO 22		476 LBL 43 SF03 38 STO 38 STO 98 FS04 ? GTO 44 FS 05 ? GTO 45 FS06 ? GTO 46 FS 07 ? GTO 47 FS08 ? GTO 48 FS09 ? GTO 49
391	LBL 51 TRANS = ? PROMPT				493 LBL 44 CF04 1 ST+98 RCL IND 98 X / 2 STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98

LBL TRANS suite

	X = Y ? GTO 14 GTO 44		CF08 1 ST+98 RCL IND 98 10 ↗ X 1 -		STO 06 NB VAL/MOY= PROMPT STO 07
509	LBL 45 CF 05 1 ST+98 RCL IND 98 X ↗ 2 0.5 - STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98 X = Y ? GTO 14 GTO 45		STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98 X = Y GTO 14 GTO 48		623 LBL 28 CL $\frac{1}{2}$ 0 STO 08 1 STO 00 GTO 29
		579	LBL 49 CF09 1 ST+98 RCL IND 98 10 ↗ X 10 - STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98 X = Y GTO 14 GTO 49		630 LBL 29 1 ST+08 ST+38 RCL IND 38 ↙+ RCL 08 RCL 07 X = Y ? GTO 30 GTO 29
527	LBL 46 CF06 1 ST+98 RCL IND 98 X ↗ 2 1 - STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98 X = Y ? GTO 14 GTO 46		STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98 X = Y GTO 14 GTO 49		641 LBL 30 SDEV X ↗ 2 RCL 35 1 - * ST+04 SDEV X ↗ 2 LOG RCL 35 1 - * ST+05 RCL 35 ST+01 1 - 1/X ST+02 RCL 00 RCL 06 X = Y ? GTO 31 GTO 28
		597	LBL 25 BARTLETT PROMPT 38 STO 38 0 STO 98 GTO 26		
545	LBL 47 CF07 1 ST+98 RCL IND 98 10 ↗ X STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98 X = Y GTO 14 GTO 47		STO IND 98 RCL 15 RCL 27 * 38 + RCL 98 X = Y GTO 27 GTO 26		668 LBL 31 RCL 01 RCL 00 - STO 03 RCL 04 RCL 03
		605	LBL 26 0 STO IND 98 1 ST+98 RCL 98 RCL 38 X = Y GTO 27 GTO 26		
		615	LBL 27 ↙ REG 30 NB TRAIT = PROMPT		
561	LBL 48				

LBL TRANS suite

	/		STO 38		
	STO 04		GTO 33		
	RCL 04				
	LOG				
	RCL 03	734	LBL 33		
	*		1		
	STO 04		ST+38		
	RCL 03		RCL IND 38		
	1/X		X =		
	RCL 02		ARCLX		
	-		AVIEW		
	CHS		STOP		
	STO 02		RCL 06		
	RCL 00		RCL 07		
	1		*		
	-		38		
	3		+		
	*		RCL 38		
	1/X		X = Y ?		
	ST 00		GTO 40		
	RCL 04		GTO 33		
	RCL 05				
	-				
	2,306	751	LBL 40		
	*		END		
	STO 03		PROMPT		
	RCL 00		END		
	RCL 02				
	*				
	1				
	+				
	STO 05				
	RCL 03				
	RCL 05				
	/				
714	CHI 2=				
	ARCLX				
	AVIEW				
	STOP				
	RCL 06				
	1				
	-				
	STO 08				
	RCL 08				
	DDL X2 =				
	ARCLX				
	AVIEW				
	STOP				
	GTO 32				
724	LBL 32				
	CF04				
	CF05				
	CF06				
	CF07				
	CF08				
	CF09				
	38				

SPLIT-PLOT à 2 facteurs
(SP)

Programme permettant l'analyse d'un dispositif en split-plot à 2 facteurs plus répétitions.

Pour les deux facteurs (1er facteur = P, 2eme facteur = Q)
15 niveaux au maximum peuvent être analysés. De même le programme ne permet pas d'analyser un essai comportant plus de 15 répétitions (R).

L'introduction des données se fait de la façon suivante :

soit $X_{i j k}$ une donnée :

i variant de 1 à P (1er facteur), j variant de 1 à Q (2e facteur), k variant de 1 à R (blocs)

on entre d'abord X111 puis l'on fait varier J : on entre donc ensuite X121, X131... jusqu'à J = Q.

Ensuite on passe au bloc suivant : on entre donc X112 puis X122...

Programme SP

01	LBL SP CLRG Σ REG 64 CF 00 CF 01 CF 02 CF 03 CF 04 CF 05 CF 06 CF 07 CF 08 CF 09 P = PROMPT STO 00 Q = PROMPT STO 01 R = PROMPT STO 02 TRANS ? PROMPT NO = 1,4=2 PROMPT STO 72 1 X = Y ? GTO 02 LOG = SF 00 PROMPT LOGX+1=SF01 PROMPT LOGX+10=SF02 PROMPT SQR X = SF 03 PROMPT SQR X+1=SF 04 PROMPT SQRX+0,5=SF05 PROMPT ARCSINSQR=06 PROMPT ARCSINSQRX+1=07 PROMPT		X = Y ? GTO 05 RCL 01 RCL 02 * RCL 53 X < > Y / MF 1 = ARCL X AVIEW STOP XEQ 28 RCL 53 X ↗ 2 ST + 54 GTO 29		STOP RTN
		75	LBL 28 RCL 72 1 X = Y ? RTN FS ? 00 XEQ 20 FS ? 01 XEQ 21 FS ? 02 XEQ 22 FS ? 03 XEQ 23 FS ? 04 XEQ 24 FS ? 05 XEQ 25 FS ? 06 XEQ 26 FS ? 07 XEQ 27 RTN	115	LBL 22 RCL Z 10 ↗ X 10 - MOY REEL = ARCL X AVIEW STOP RTN
				125	LBL 23 RCL Z X ↗ 2 MOY REEL = ARCL X AVIEW STOP RTN
				133	LBL 24 RCL Z X ↗ 2 1 - MOY REEL = ARCL X AVIEW STOP RTN
		97	LBL 20 RCL Z 10 ↗ X MOY REEL = ARCL X AVIEW STOP RTN	143	LBL 25 RCL Z X ↗ 2 0,5 - MOY REEL = ARCL X AVIEW STOP RTN
47	LBL 02 5 STO 05 21 STO 21 0 STO 04 1 ST + 03 RCL 03 1	105	LBL 21 RCL Z 10 X 1 - MOY REEL = ARCL X AVIEW	153	LBL 26 RCL Z SIN X ↗ 2 MOY REEL = ARCL X AVIEW STOP RTN
				162	LBL 27 RCL Z SIN X ↗ 2

Programme SP suite

	1		AVIEW		LOG
	-		STOP		GTO 18
	MOY REEL =		XEQ 28		
	ARCL X		RCL 01	281	LBL 12
	AVIEW		RCL 03		X=
	STOP		X = Y ?		PROMPT
	RTN		GTO 04		10
173	LBL 29		GTO 07		+
	1				LOG
	ST + 21	232	LBL 03		GTO 18
	RCL IND 21		CL Σ		
	RCL 02.		5	288	LBL 13
	/		STO 70		X=
	MF 2 =		21		PROMPT
	ARCL X		STO 71		SQRT
	AVIEW		GTO 19		GTO 18
	STOP	239	LBL 19		
	XEQ 28		1	293	LBL 14
	RCL IND 21		ST + 70		X=
	X ↗ 2		ST + 71		PROMPT
	ST + 55		RCL 72		1
	0		1		+
	STO IND 21		X = Y ?		SQRT
	RCL 01		GTO 31		GTO 18
	21		GTO 32		
	+			300	LBL 15
	RCL 21	248	LBL 31		X=
	X = Y ?		X =		PROMPT
	GTO 05		PROMPT		0,5
	GTO 29		GTO 18		+
196	LBL 05		LBL 32		SQRT
	RCL 00		FS ? 00		GTO 18
	1		GTO 10		
	+		FS ? 01	307	LBL 16
	RCL 03		GTO 11		X =
	X = Y ?		FS ? 02		PROMPT
	GTO 06		GTO 12		SQRT
	37		FS ? 03		A SIN
	GTO 37		GTO 13		GTO 18
	0		FS ? 04		
	STO 53		GTO 14	313	LBL 17
	GTO 03		FS ? 05		X =
			GTO 15		PROMPT
208	LBL 06		FS ? 06		1
	0		GTO 16		+
	STO 03		FS ? 07		SQRT
	GTO 07		GTO 17		ASIN
					GTO 18
212	LBL 07	269	LBL 10		LBL 18
	1		X=		ST+IND 70
	ST + 03		PROMPT		ST+IND 71
	1		LOG		Σ +
	ST + 05		GTO 18		XEQ A
	RCL IND 05				GTO 19
	RCL 00			327	LBL 8
	+	274	LBL 11		0
	/		X=		STO 63
	MF2 T =		PROMPT		1
	ARCL X		1		ST + 04
			+		

Programme SP suite

	ST + 37		SCET =		STO 04
	RCL 64		ARCLX		5
	RCL 01		AVIEW		STO 37
	/		STOP		XEQ 08
	MF 3=		RCL 01		
	ARCLX		RCL 02	449	LBL 09
	AVIEW		*		RCL 00
	STOP		RCL 54		RCL 02
	XEQ 28		X < > Y		*
	RCL 64		/		ST/04
	ST+IND 37		RCL 57		RCL 57
	ST + 53		-		ST-04
	ST + 57		STO 60		SCE 2=
	X ↗ 2		STO 58		ARCLX
	ST + 56		SCE 1=		AVIEW
	RCL 65		ARCLX		STOP
	ST + 58		AVIEW		RCL 56
	RCL 04		STOP		RCL 01
	RCL 02		37		/
	X = Y ?		STO 37		RCL 57
	GTO 02		0		-
	GTO 03		STO 04		STO 62
			XEQ 08		SCE GP =
354	LBL A				ARCLX
	1	412	LBL 08		AVIEW
	ST + 63		1		STOP
	RCL 63		ST + 37		RCL 62
	RCL 01		RCL IND 37		RCL 61
	X = Y ?		X ↗ 2		-
	GTO B		ST + 04		RCL 60
	RTN		RCL 02		-
362	LBL 04		37		STO 36
	RCL 00		+		SCE RES 1=
	RCL 01		RCL 37		ARCLX
	*		X = Y ?		AVIEW
	RCL 02		GTO 01		STOP
	*		RCL 01		RCL 02
	RCL 57		5		1
	/		+		-
	1/X		RCL 37		RCL 00
	MOY GEN =		X = Y ?		1
	ARCLX		GTO 09		-
	AVIEW		GTO 08		*
	STOP				DDL RES 1=
	STO 21	431	LBL 01		ARCLX
	RCL 57		RCL 00		AVIEW
	X ↗ 2		RCL 01		STOP
	STO 57		*		ST/36
	RCL 00		ST/04		RCL 36
	RCL 01		RCL 57		VAR RES 1=
	*		ST-04		ARCLX
	RCL 02		RCL 04		AVIEW
	*		STO 61		STOP
	ST/57		SCE 3=		RCL 00
	RCL 58		ARCLX		1
	RCL 57		AVIEW		-
	-		STOP		DOL 1 =
	STO 59		0		ARCLX

Programme SP suite

```

AVIEW
STOP
ST/60
RCL 36
ST/60
RCL 60
F1=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 02
1
-
DDL 3=
ARCLX
AVIEW
STOP
ST/61
RCL 36
ST/61
RCL 61
F3=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 55
RCL 02
/
RCL 57
-
RCL 58
-
RCL 04
-
STO 38
SCE INT 1,2=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 59
RCL 62
-
RCL 04
-
RCL 38
-
STO 03
SCE RES 2=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 01
1
-
RCL 02
1
-
*
```

```

RCL 00
*
DDL RES 2=
ARCLX
AVIEW
STOP
ST/03
RCL 03
VAR RES 2=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 01
1
-
DDL 2=
ARCLX
AVIEW
STOP
ST/04
RCL 03
ST/04
RCL 04
F2=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 00
1
-
RCL 01
1
-
*
DDL INT=
ARCLX
AVIEW
STOP
ST/38
RCL 03
ST/38
RCL 38
F INT 1,2=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 36
SQRT
RCL 21
/
100
*
CV1=
ARCLX
AVIEW
STOP
RCL 03
SQRT
RCL 21
```

```

/
100
*
CV2=
ARCLX
AVIEW
STOP
CF 00
CF 01
CF 02
CF 03
CF 04
CF 05
CF 06
CF 07
CF 08
CF 09
BEEP
STOP
END
```

LBL DUNC

01	LBL DUNC CLRG CF02 CF00 ≤ REG 68 51 STO 51 CROI SFOO PROMPT VARRES = PROMPT NB REPET = PROMPT / SQRT STO 98 NB MOY = PROMPT STO 80	59	K ASTO 11 L ASTO 12 M ASTO 13 N ASTO 14 O ASTO 15 15 STO 84 STO 32		X ≤ Y GTO 27 GTO 19
20	LBL 16 1 ST+51 DUNC = PROMPT STO IND 51 RCL 98 * STO IND 51 RCL 80 51 + 1 - RCL 51 X = Y ? GTO 26 GTO 16	72	LBL 17 1 ST+84 X = PROMPT STO IND 84 RCL 80 RCL 32 + STO 33 RCL 33 RCL 84 X = Y ? GTO 22 GTO 17	118	LBL 23 RCL IND 84 RCL IND 32 X > Y ? GTO 27 GTO 19
38	LBL 26 A ASTO 01 B ASTO 02 C ASTO 03 D ASTO 04 E ASTO 05 F ASTO 06 G ASTO 07 H ASTO 08 I ASTO 09 J ASTO 10	87	LBL 22 16 STO 34 STO 84 RCL 80 1 + STO 33 RCL 33 ST+32 15 STO 82 GTO 19	124	LBL 27 RCL X STO IND 84 RCL Z STO IND 32 GTO 19
		100	LBL 19 1 ST - 32 RCL 84 RCL 32 X = Y ? GTO 21 GTO 20	130	LBL 21 15 STO 32 1 ST+84 RCL 80 RCL 34 + 1 - STO 34 RCL 34 RCL 84 X = Y ? GTO 18 GTO 28
		108	LBL 20 FS 00 ? GTO 24 GTO 23	146	LBL 28 16 STO 34 RCL 80 1 + STO 33 RCL 33 ST+32 GTO 19
		112	LBL 24 RCL IND 84 RCL IND 32	156	LBL 18 15 STO 84 20 STO 33 35 STO 34 0 STO 82 STO 89 STO 92 STO 97 15 STO 32

LBL DUNC suite

	GTO 03		226	LBL G RCL IND 51 RCL 85 X > Y ? GTO B GTO A		GTO 33
171	LBL 03 1 ST+92 GTO 01				281	LBL A RCL 83 RCL 33 + STO 35 RCL IND 35 0 X = Y ? GTO 47 GTO 01
175	LBL 01 RCL 80 RCL 32 + 1 + STO 81 51 STO 51 0 STO 89 1 ST+97 RCL 97 RCL 80 X = Y ? GTO 15 GTO 14		232	LBL B RCL 83 RCL 84 - STO 97 RCL 97 1 X = Y ? GTO 30 GTO 02	291	LBL 47 FS ? 02 GTO 48 GTO 49
			242	LBL 30 RCL 84 16 X = Y ? GTO 29 GTO C	295	LBL 48 RCL 84 STO 35 GTO 12
193	LBL 14 1 ST+84 0 STO 82 RCL 97 1 - ST+51 STO 02		248	LBL 29 RCL 01 STO 36 RCL 02 STO 37 GTO 03	299	LBL 12 RCL 35 RCL 33 + STO 93 RCL IND 93 0 X = Y ? GTO 31 GTO 09
			254	LBL C FS02 ? GTO 31 GTO 32	309	LBL 31 CLA ARCL IND 92 GTO 41
203	LBL 02 0 STO 68 1 ST+82 ST+51 RCL 81 RCL 82 - STO 83 RCL IND 84 RCL IND 83 - STO 85 0 RCL 85 X ≤ Y GTO F GTO G		258	LBL 31 RCL 83 RCL 33 + STO 93 CLA ARCL IND 92 ASTO IND 93 GTO 33	313	LBL 09 CLA ARCL IND 93 ARCL IND 92 GTO 41
			267	LBL 33 CFO2 GTO 01	318	LBL 41 ASTO IND 93 CLA RCL 35 RCL 83 X = Y ? GTO 42 GTO 13
222	LBL F CHS STO 85 GTO G		270	LBL 32 1 ST+92 RCL 83 RCL 33 + STO 93 CLA RCL IND 92 ASTO IND 93	326	LBL 13 1 ST+35 GTO 12
					330	LBL 42 SFO2

LBL DUNC suite

	GTO 03						
333	LBL 49						
	RCL 84						
	16						
	X = Y ?						
	GTO 48						
	GTO 50						
339	LBL 50						
	RCL 84						
	1						
	+						
	STO 35						
	GTO 12						
345	LBL 15						
	RCL 34						
	STO 89						
	GTO 10						
349	LBL 10						
	1						
	ST+89						
	ST+32						
	CLA						
	BEEP						
	ARCL IND 32						
	ARCL IND 89						
	AVIEW						
	STOP						
	CLA						
	RCL 80						
	RCL 34						
	+						
	STO 84						
	RCL 84						
	RCL 89						
	X = Y ?						
	GTO 25						
	GTO 10						
369	LBL 25						
	CF 02						
	CF 00						
	BEEP						
373	END						

