

Contribution à la mise au point d'une lutte intégrée contre *Coelaenomenodera minuta* Uh., principal ravageur de *Elaeis guineensis* en Afrique de l'Ouest.

Modélisation de la dynamique des populations de *Coelaenomenodera* et applications pratiques.

R. LECOUSTRE (1) et P. de REFFYE (2)

Résumé. — Un bref rappel du problème *Coelaenomenodera minuta* en Afrique de l'Ouest et des résultats des tentatives de lutte biologique est effectué. La conception du modèle est ensuite décrite sommairement. Le bon accord des dynamiques des populations, calculées pour le ravageur et ses parasites d'œufs, avec les évolutions observées est montré sur un exemple. On développe ensuite les possibilités d'application du modèle, en vue de la mise au point de l'optimisation des dates et fréquences d'interventions chimiques par pulvérisation d'insecticides sur les plantations. Les objectifs à atteindre dans l'avenir pour assurer la réelle vulgarisation de cette méthode sont enfin exposés.

INTRODUCTION

Coelaenomenodera minuta Uh. (Coleoptera, Chrysomelidae, Hispinae), dont les larves creusent des galeries dans le limbe des folioles, est l'ennemi le plus important du palmier à huile en Afrique de l'Ouest. Les défoliations qu'il provoque peuvent entraîner de fortes pertes de production.

Des études sur la dynamique des populations au champ montrent que, très généralement, les générations successives ne se recouvrent pas, ce qui entraîne une discontinuité dans les cycles néfaste aux parasites des larves et des œufs. Ces études mettent également en évidence que l'essentiel du contrôle naturel est assuré par deux parasites d'œufs [7 à 12].

L'introduction, en Côte d'Ivoire, de parasites larvaires d'autres hispines de palmacées de pays étrangers n'a pas permis de contrôler biologiquement le ravageur. Il est donc actuellement nécessaire d'intervenir avec des insecticides chimiques dès qu'un seuil critique est atteint.

Cependant, *C. minuta* possède déjà en Côte d'Ivoire quelques souches résistantes à certains insecticides (HCH-parathion). Il faut donc non seulement disposer d'une gamme étendue d'insecticides pour varier leur utilisation, mais aussi les utiliser avec prudence et économie.

Afin de pouvoir gérer au mieux le potentiel naturel de contrôle des populations du ravageur, il s'est avéré nécessaire de modéliser mathématiquement les équilibres existants entre les populations de palmiers, du ravageur et de ses parasites.

Le modèle mis au point doit permettre, en outre, de simuler les évolutions conjointes probables du *Coelaenomenodera* et de ses parasites d'œufs sur un site donné en tenant compte des contraintes de fécondité et de mortalité des antagonistes ainsi que des techniques d'interventions chimiques utilisées.

I. — MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS

Un modèle mathématique se doit, avant tout, de respecter les caractéristiques biologiques des phénomènes étudiés et les interactions qui en découlent. Il doit, en outre, intégrer tous les facteurs clés afin d'être adapté au problème étudié.

Le modèle qui a été mis au point pour décrire les interactions à 3, non linéaires, entre le palmier, le *Coelaenomenodera* et ses parasites repose sur la théorie des systèmes à variables d'état.

Dans les conditions de la plantation industrielle, on considère, sauf accident, que la surface foliaire des palmiers reste sensiblement constante dans le temps, son renouvellement étant assuré périodiquement par l'émission des jeunes feuilles.

D'autre part, le ravageur rencontre à coup sûr des palmiers sur lesquels il peut se nourrir, pondre et se développer dans les conditions de faible à moyenne défoliation qui prévalent avant qu'une intervention ne soit nécessaire. La surface défoliée au cours du développement larvaire d'un individu est connue, ce qui permet d'estimer la défoliation provoquée par chacune des générations de l'insecte.

Les femelles de *C. minuta* déposent, après une période de préoviposition, leurs œufs sur la face inférieure des

(1) I.R.H.O., Station Principale de La Mé, Entomologie, B.P. 13 Bingerville (Côte d'Ivoire).

(2) G.E.R.D.A.T. — Informatique, B.P. 5035 — 34032 Montpellier Cedex (France).

folioles. Cette ponte n'a lieu ni brutalement, ni de façon continue ; elle se distribue dans le temps selon une courbe caractéristique de l'espèce. Cette courbe dépend à la fois de la fécondité moyenne, de l'intensité de ponte et de la mortalité des femelles. L'intensité de ponte augmente très rapidement au cours des 3 à 4 premières semaines, puis diminue très lentement, l'étalement total est de 8 à 10 semaines au plus.

Ce type de ponte devrait conduire, au bout de quelques générations, à un mélange complet des populations de stades différents. Or, on constate l'existence, dans les conditions naturelles, de cycles qui paraissent d'autant plus marqués que l'infestation est forte (courbe des œufs vivants observés sur Fig. 1). La périodicité de ces cycles est voisine de 90 jours ce qui correspond environ à la durée moyenne du développement de l'insecte.

On a remarqué que les parasites d'œufs recherchent activement leur hôte, puisqu'ils vont même jusqu'à pénétrer dans des cages à mailles très fines. En règle générale, chaque œuf-hôte n'abrite qu'un seul parasite. Le cycle de développement des parasites est de l'ordre de 30 jours ; il se déroule entièrement dans l'œuf du ravageur qui est lui-même enchâssé dans le parenchyme.

La fécondité et l'allure de la courbe de ponte dans le temps de ces insectes peuvent être estimées grâce aux résultats obtenus en élevage sur des espèces voisines [4].

Dans ce cas encore, si les parasites ne sont pas limités par le nombre de leurs hôtes, on devrait aboutir rapidement à un mélange complet des générations alors qu'expérimentalement des cycles existent (courbe des œufs parasités observés sur Fig. 2). Leur périodicité est la même que celle des cycles du ravageur.

Seules les interactions entre le ravageur et ses parasites, calculées grâce au modèle, peuvent expliquer et permettent de retrouver la périodicité des cycles de l'hôte et des parasites.

Le maintien de ces cycles est en effet lié au fait qu'une partie seulement des œufs d'une génération de *Coelaenomenodora* arrivent à terme pour donner les adultes de la génération suivante. En effet, au début des pontes, les parasites sont peu nombreux et ne peuvent donc contrôler efficacement les premiers œufs pondus ; au contraire, à la fin du cycle de ponte, ils parasitent la majorité des œufs disponibles.

Les calculs réalisés grâce au modèle bâti sur ces hypothèses sont comparés à une situation d'équilibre qui existait

sur une parcelle de la Station de La Mé, les figures 1 et 2 représentent respectivement la dynamique des œufs vivants et celle des œufs parasités. Seules des valeurs particulières des paramètres du modèle permettent d'obtenir une telle situation d'équilibre aussi stable. La très bonne concordance entre les courbes observées et simulées est une preuve du bon comportement du modèle.

Les calculs dépendent, dans ce modèle, des valeurs prises par les paramètres clés suivants :

- le renouvellement de la surface foliaire des palmiers,
- la mortalité moyenne par unité de temps du ravageur et de ses parasites,
- la durée de leurs cycles de développement respectifs,
- leurs fécondités moyennes exprimées en taux de multiplication, c'est-à-dire en nombre d'œufs qui donneraient des femelles, pondus par femelle,
- les allures de leur courbes de ponte,
- la surface détruite au cours du développement du ravageur,
- les modalités de l'interaction hôtes-parasites relative aux œufs.

La variation de la valeur d'un seul de ces paramètres peut modifier de façon très sensible l'évolution de la dynamique des populations résultantes.

A partir des populations instantanées d'œufs vivants de *Coelaenomenodora* et d'œufs parasités, observées sur une parcelle de la plantation industrielle Palmindustrie de Boubo en Côte d'Ivoire (Tabl. I), on procède à deux simulations des évolutions des effectifs instantanés du ravageur et de ses parasites d'œufs.

Seule la mortalité moyenne des œufs du ravageur diffère entre ces deux simulations (Tabl. II, III). On remarque aisément, sur les figures 3 et 4, la nette différence d'évolution entre les populations simulées à partir de ces 2 hypothèses.

Ultérieurement, grâce à des observations biologiques orientées dans l'esprit du modèle, il sera possible de faire évoluer de façon continue les paramètres en fonction des modifications dans le temps d'un facteur abiotique clé, telle la température par exemple.

La souplesse de ce modèle permet, en outre, de simuler toutes sortes d'accidents (défoliations brutales, invasion d'adultes du ravageur) et d'interventions humaines (élagages, lâchers de parasites, traitements insecticides).

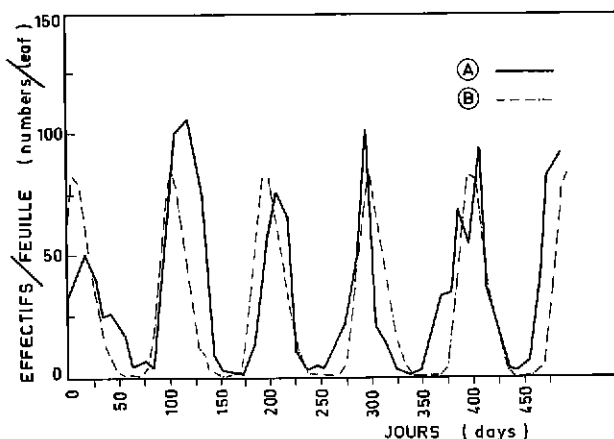


FIG. 1. — Dynamique des œufs vivants (*Dynamics of living eggs*).
(A) — œufs vivants observés (*observed living eggs*).
(B) — œufs vivants simulés (*simulated living eggs*).

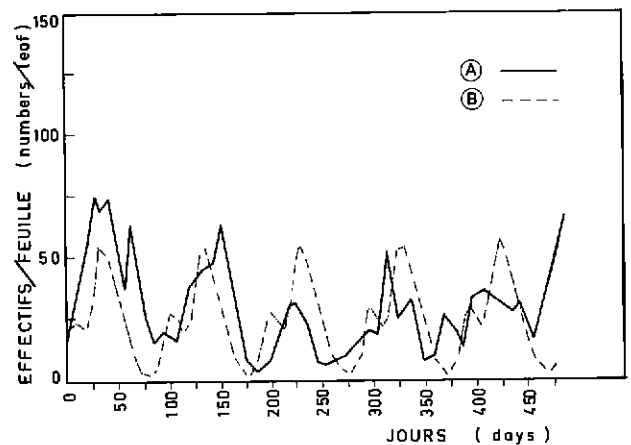


FIG. 2. — Dynamique des œufs parasités (*Dynamics of parasited eggs*).
(A) — œufs parasités observés (*observed parasited eggs*).
(B) — œufs parasités simulés (*simulated parasited eggs*).

TABEAU I. — Populations instantanées observées sur la parcelle C2 de Boubo.
(Populations observed at given moments in time — plot C2, Boubo)

Dates — 1983 —		Moyenne œufs/palme (Mean eggs/palm)	
jour de l'année (day of the year)	calendaires (calendar)	vivants (non parasités) (living- non parasited)	parasités (parasited)
135	14/05	1,1	0,0
140	19	0,6	0,0
145	23	0,9	0,0
150	29	1,2	0,0
155	03/06	2,0	0,0
160	08	2,9	0,0
165	13	10,2	0,0
170	18	17,2	0,0
175	23	11,9	0,0
180	28	6,3	0,1
185	03/07	3,5	0,1
190	08	0,8	0,1
195	13	0,7	0,0
200	18	0,6	0,0
205	23	0,5	0,0
210	28/07	0,4	0,0

TABEAU II. — Valeurs des paramètres biologiques utilisés dans le programme de simulation pour le calcul des évolutions des populations à partir des observations reprises au tableau I

(Values of biological parameters used in the programme of simulation for calculating population development from observations based on Table I)

(Fig. 3)

	<i>Coelaenomenodera minuta</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)
Taux de multiplication (œufs femelles/femelle) (Multiplication rate — female eggs/female)	50	15
Mortalité totale hors parasitisme des œufs au cours de l'incubation (Total mortality apart parasitism of eggs during incubation)	55 p. 100	—
Mortalité totale hors parasitisme au cours du développement (Total mortality apart parasitism during development)	> 95 p. 100	11 p. 100

TABEAU III. — Valeurs des paramètres biologiques utilisés dans le programme de simulation pour le calcul des évolutions des populations à partir des observations reprises au tableau I
(Values of biological parameters used in the programme of simulation for calculating population development from observations based on Table I)

(Fig. 4)

	<i>Coelaenomenodera minuta</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)	<i>Coelaenomenodera minuta</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)
Taux de multiplication (œufs femelles/femelle) (Multiplication rate — female eggs/female)	50	15		
Mortalité totale hors parasitisme des œufs au cours de l'incubation (Total mortality apart parasitism of eggs during incubation)	45 p. 100	—	Mortalité totale hors parasitisme au cours du développement complet (Total mortality apart parasitism during total development)	> 90 p. 100
				11 p. 100

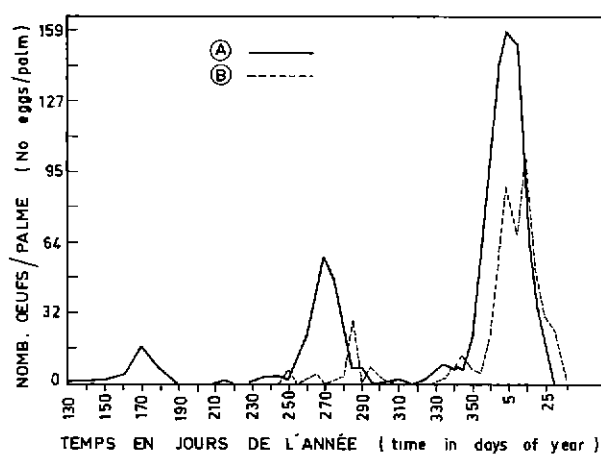
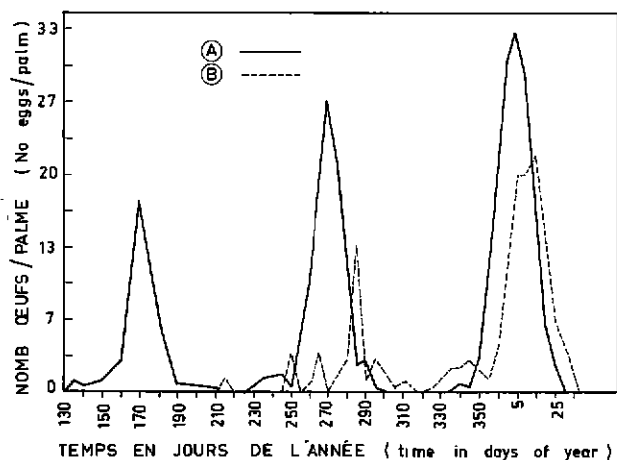


FIG. 3. — Boubo — C2. — Evolution des populations sans traitement (Population development without treatment).

	(A) <i>Coelaenomenodera</i>	(B) Parasites
— taux de mult. (mult. rate)	50	15
— mortalité (mortality)	55 p. 100	11 p. 100

FIG. 4. — Boubo — C2. — Evolution des populations sans traitement (Population development without treatment).

	(A) <i>Coelaenomenodera</i>	(B) Parasites
— taux de mult. (mult. rate)	50	15
— mortalité (mortality)	45 p. 100	11 p. 100

II. — OPTIMISATION DES TRAITEMENTS CHIMIQUES

Les œufs du ravageur sont insérés dans l'épaisseur du parenchyme et ses larves sont mineuses des feuilles, le seul stade vulnérable aux insecticides de contact est donc le stade adultes, lorsque ceux-ci se trouvent à l'extérieur des feuilles.

Les interventions sont effectuées en tenant compte de plusieurs critères dont la durée de la période de préoviposition, la rémanence de l'insecticide utilisé, très courte à nulle dans les conditions de traitement aérien, et l'étalement des émergences d'une génération.

L'objectif des traitements actuels est de tuer le maximum d'adultes du ravageur, avant que les femelles n'aient eu le temps de pondre, tout en tenant compte des critères cités précédemment. Les interventions sont donc réalisées en effectuant plusieurs passages espacés de deux semaines au moment des sorties d'adultes. Compte tenu de la durée d'émergence, on réalise en général 3 tours de traitement, rarement 2 ou 1, mais parfois 4.

On remarquera donc qu'on ne tient que peu compte des données biologiques relatives à l'action des parasites oophages.

Or, dans le cas de l'équilibre à 3 « palmier — *Coelaenomenodera* — parasites », l'efficacité d'une intervention est complexe. En effet, celle-ci tue également les adultes externes des parasites antagonistes du *Coelaenomenodera*. Chaque traitement aura donc une efficacité qui dépendra, en majeure partie, du pourcentage d'adultes tués chez ces insectes, cette efficacité instantanée peut être différente pour le ravageur et ses parasites.

Si l'on prend en considération les insectes utiles associés au ravageur, il est évident que les dates et fréquences d'intervention ont une importance primordiale. Le jeu des équilibres biologiques est tel qu'il peut induire, à brève échéance, une situation pire que celle qu'on aurait eue si l'on n'avait pas traité ; c'est le cas, par exemple, lorsque l'on a éliminé tous les parasites. Il est donc légitime de penser qu'on peut optimiser le déroulement des interventions chimiques afin de les rendre plus longtemps efficaces et, si possible, moins coûteuses au moment de leur application en réduisant, par exemple, le nombre des interventions.

Actuellement, il n'existe pas de solution théorique optimale pour résoudre ces équations complexes d'équilibres biologiques à interactions non linéaires. On est donc amené à réaliser des simulations sur ordinateur afin de visualiser, à l'aide de graphiques, l'évolution du système après traitement insecticide par pulvérisation.

Le procédé empirique retenu consiste à suivre les évolutions conjointes des œufs de *Coelaenomenodera* et de ses parasites oophages dans une parcelle, pendant la durée d'un cycle de développement, soit environ 90 jours pour le ravageur et 30 pour les parasites. A partir des effectifs observés, le programme de simulation reposant sur le modèle calcule l'évolution prévisible des populations, en tenant compte des contraintes imposées aux paramètres clés retenus.

Le traitement appliqué est donc caractérisé par son efficacité instantanée sur le ravageur et ses parasites ainsi que par ses dates de réalisation. Si l'on veut simuler, par programmation, des traitements en nombre donné, on fait supprimer dans le calcul, les femelles de *Coelaenomenodera* et des parasites se trouvant à l'extérieur des folioles, selon le taux d'efficacité instantanée supposé pour le traitement.

En faisant alors varier empiriquement le nombre et les dates des interventions, on trouve des solutions meilleures que d'autres.

Si l'on reprend les hypothèses biologiques retenues pour tracer la figure 3 (Tabl. II), on remarque, sur la figure 5 que le traitement en trois tours espacés de 15 jours (Tabl. IV) très efficace, a cependant réduit fortement les populations de parasites d'œufs. L'exécution de 2 tours de traitement judicieusement placés et espacés de 15 jours (Tabl. V), comme le montre la figure 6, permet aux parasites de

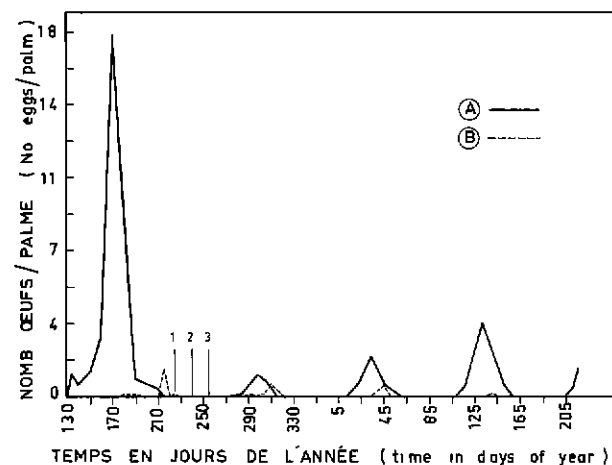


FIG. 5. — Boubo — C2. — Evolution des populations avec 3 traitements (Population development with 3 treatments).

	(A) <i>Coelaenomenodera</i>	(B) Parasites
— taux de mult. (mult. rate)	50	15
— mortalité (mortality)	55 p. 100	11 p. 100

TABLEAU IV. — Dates et efficacités des traitements simulés à partir des données reprises aux Tableaux I et II (Dates and effectiveness of simulated treatments from data found in Tables I, II) (Fig. 5)

1983 jour de l'année (Day of the year)	Efficacité (Effectiveness)	
	<i>Coelaenomenodera</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)
225	98 p. 100	98 p. 100
240	»	»
255	»	»

se multiplier et de remplacer un 3^e tour de traitement sans aucun préjudice pour une bonne efficacité à long terme.

Dans les conditions de la plantation de Boubo, l'activité des parasites oophages est faible et on se trouve dans un cas plus néfaste que celui représenté par la figure 4. On peut simuler une situation semblable à Boubo en retenant les données biologiques reportées au tableau VI.

Avec ces hypothèses, on remarque que 3 tours de traitement (Tabl. VII) auraient laissé une population résiduelle non négligeable (Fig. 7) qui, peu attaquée par les parasites, est capable de revenir rapidement à un niveau critique. Seule une intervention en 4 tours (Tabl. VIII) aurait permis d'assurer une rémission à 1 année, comme on peut s'en rendre compte sur la figure 8.

Cette parcelle n'a pas requis d'intervention au cours des mois d'août et septembre 1983. Cependant, on remarque sur cette plantation qu'une partie des parcelles traitées en 3

TABLEAU V. — Dates et efficacités des traitements simulés à partir des données reprises aux Tableaux I et II (Dates and effectiveness of simulated treatments from data found in Tables I, II)
(Fig. 6)

1983 jour de l'année (Day of the year)	Efficacité (Effectiveness)	
	<i>Coelaenomenodera</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)
235	98 p. 100	98 p. 100
250	»	»

TABLEAU VI. — Valeur des paramètres biologiques permettant de simuler une dynamique des populations proche de celle observée à Boubo à partir des observations reprises au Tableau I

(Values of biological parameters enabling the stimulation of population dynamics close to those observed at Boubo from observations based on Table I)

(Fig. 7, 8)

	<i>Coelaenomenodera</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)
Taux de multiplication (Multiplication rate)	50	10
Mortalité totale des œufs (Total mortality of eggs)	45 p. 100	—
Mortalité au cours du développement (Mortality during development)	> 90 p. 100	40 p. 100

TABLEAU VII. — Dates et efficacités des traitements simulés à partir des données reprises aux Tableaux I et VI (Dates and effectiveness of simulated treatments from data found in Tables I, VI)

(Fig. 7)

1983 jour de l'année (Day of the year)	Efficacité (Effectiveness)	
	<i>Coelaenomenodera</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)
225	98 p. 100	98 p. 100
240	»	»
255	»	»

TABLEAU VIII. — Dates et efficacités des traitements simulés à partir des données reprises aux Tableaux I et VI (Dates and effectiveness of simulated treatments from data found in Tables I, VI)

(Fig. 8)

1983 jour de l'année (Day of the year)	Efficacité (Effectiveness)	
	<i>Coelaenomenodera</i>	Parasites d'œufs (Egg parasites)
225	98 p. 100	98 p. 100
240	»	»
255	»	»
270	»	»

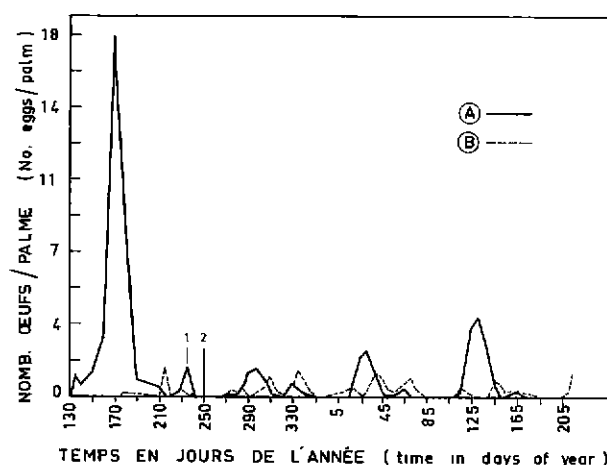


FIG. 6. — Boubo — C2. — Evolution des populations avec 2 traitements (Population development with 2 treatments).

	(A) <i>Coelaenomenodera</i>	(B) Parasites
— taux de mult. (mult. rate)	50	15
— mortalité (mortality)	55 p. 100	11 p. 100

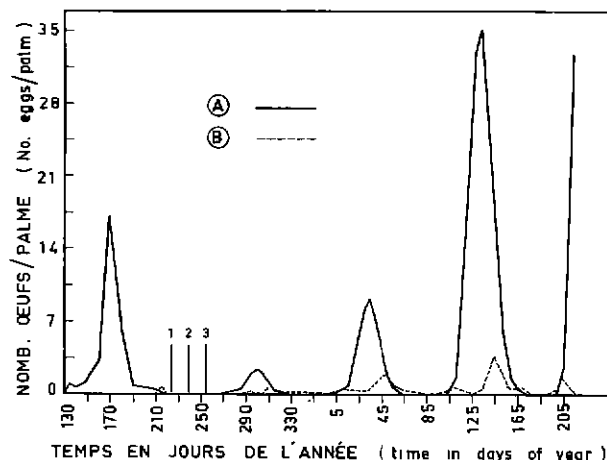


FIG. 7. — Boubo — C2. — Evolution des populations avec 3 traitements (Population development with 3 treatments).

	(A) <i>Coelaenomenodera</i>	(B) Parasites
— taux de mult. (mult. rate)	50	10
— mortalité (mortality)	45 p. 100	40 p. 100

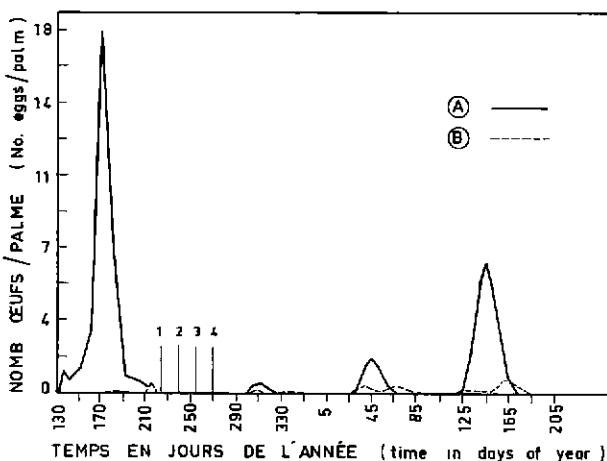


FIG. 8. — Boubo — C2. — Evolution des populations avec 4 traitements (Population development with 4 treatments).

	(A) <i>Coelaenomenodera</i>	(B) Parasites
— taux de mult. (mult. rate)	50	10
— mortalité (mortality)	45 p. 100	40 p. 100

tours, bien que l'efficacité instantanée ait été supérieure à 98 p. 100, nécessiteront certainement une nouvelle intervention après le premier trimestre 1984.

Cette étude d'optimisation pas à pas représente un net progrès par rapport aux décisions actuelles surtout basées sur une longue expérience du milieu, puisqu'elle s'appuie sur les données et les interactions biologiques. Elle est encore insuffisante car le grand nombre de combinaisons possibles ne permet pas de trouver, sauf par hasard, la solution optimale ; on ne peut trouver seulement que des solutions plus efficaces ou identiques aux interventions actuelles.

L'automatisation des calculs du modèle, pour la recherche de la solution optimale théorique, permettrait d'obtenir immédiatement, par le calcul grâce à un programme informatique, les dates et fréquences d'intervention optimisées à partir d'une situation initiale. On aurait ensuite des données précises sur la sensibilité de l'évolution de l'équilibre en fonction des erreurs de mesure sur les différents paramètres qui entrent en jeu.

CONCLUSION

Il a été possible de réaliser, à partir des hypothèses biologiques issues des observations effectuées depuis plusieurs années, un modèle d'équilibre biologique à 3 entre le palmier, le *Coelaenomenodera* et ses parasites d'œufs.

Ce modèle repose sur des paramètres clés et des équations qui rendent compte de la croissance et du développement des populations des antagonistes et de leurs interactions.

Les interventions chimiques actuelles, par pulvérisation, sont décidées par une utilisation empirique, due à l'expérience acquise, des données biologiques antérieurement recueillies. La complexité des interactions mises en jeu peut parfois faire échouer une intervention qui paraissait pourtant très efficace instantanément.

Une voie d'avenir s'ouvre actuellement grâce au développement des biomathématiques et de l'informatique. Le modèle d'équilibre biologique mis au point peut, en effet, déjà être utilisé à petite échelle pour réaliser des essais d'optimisation d'interventions chimiques à partir des évolutions conjointes observées des populations d'œufs de *C. minuta* et de ses parasites oophages, à condition de disposer, pour l'instant, d'observations précises effectuées à la loupe binoculaire.

Pour l'application pratique finale, les modalités des observations à réaliser pratiquement sur le terrain par les équipes de contrôleurs phytosanitaires sont étudiées et des essais vont être réalisés. Les résultats de ces travaux donneront lieu à une publication ultérieure.

Enfin, l'automatisation des calculs de ce modèle assouplira et rendra plus efficace son application en tant que modèle opérationnel et prévisionnel pour les sociétés de développement et les plantations utilisatrices.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] FAURE R. (1978). — Précis de recherche opérationnelle, Dunod, Paris.
- [2] FELLER W. (1977). — An introduction to probability theory and its applications, Vol. I. Wiley Ed.
- [3] KOSTITZIN V. A. (1939). — Mathematical Biology. Harrap, London.
- [4] LECOUSTRE R., MARIAU D., PHILIPPE R., DESMIER de CHENON R. (1980). — Contribution à la mise au point d'une lutte biologique contre *Coelaenomenodera* (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 35, N° 4, p. 177-186.
- [5] LECOUSTRE R. et de REFFYE P. (1982). — Théorie de la mesure et de la simulation de l'attaque du palmier à huile par son ravageur à l'aide d'un processus aléatoire de contagion. Informatique et biosphère. Actes du X^e colloque, INA-PG, Paris, 26-28 avril 1982, p. 335-369.
- [6] LECOUSTRE R. et REFFYE P. de (1983). — Modélisation et simulation de la dynamique des populations de *Coelaenomenodera* et des interactions avec ses parasites et palmier. Rapport interne I.R.H.O., 26 p. (Mission de Reffye, 10 août-23 septembre 1983).
- [7] MARIAU D. et MORIN J.-P. (1971). — La biologie de *Coelaenomenodera elaeidis* Mk. II. — Description et biologie des principaux parasites. *Oléagineux*, 26, N° 2, p. 83-88.
- [8] MARIAU D. et MORIN J.-P. (1972). — La biologie de *Coelaenomenodera elaeidis* Mk. IV. — La dynamique des populations du ravageur et de ses parasites. *Oléagineux*, 27, N° 10, p. 469-474.
- [9] MARIAU D., DESMIER de CHENON R., JULIA J.-F., PHILIPPE R. (1981). — *Coelaenomenodera*. In : Les Ravageurs du palmier à huile et du cocotier en Afrique occidentale. *Oléagineux*, 36, N° 4, p. 178-181 (numéro spécial trilingue fr.-angl.-esp.).
- [10] MARIAU D., PHILIPPE R., LECOUSTRE R. (1978). — Les parasites larvaires de *Coelaenomenodera elaeidis* Mk., hispine du palmier à huile en Afrique occidentale. Introduction à une méthode de lutte biologique (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 33, N° 4, p. 153 à 160.
- [11] MORIN J.-P. et MARIAU D. (1970). — Etude sur la biologie de *Coelaenomenodera elaeidis* Mk. I. — Morphologie et étude du développement. *Oléagineux*, 25, N° 1, p. 11-16.
- [12] MORIN J.-P. et MARIAU D. (1971). — La biologie de *Coelaenomenodera elaeidis* Mk. III. — La reproduction. *Oléagineux*, 26, N° 6, p. 373-378.
- [13] NAYLOR Th. et BALINTEY J. (1966). — Computer simulation techniques. Wiley Ed.
- [14] PHILIPPE R., DESMIER de CHENON R., LECOUSTRE R., MARIAU D. (1979). — Contribution à la mise au point d'une lutte biologique contre *Coelaenomenodera* : Introduction en Côte d'Ivoire de parasites larvaires d'hispanes (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 34, N° 6, p. 271-279.
- [15] REFFYE P. de et al. (1980). — Etude de la pollinisation du cacaoyer à partir du trafic des insectes. Modèle mathématique et simulations. *Café, Cacao, Thé*, 24, N° 2, p. 83-100.

SUMMARY

Contribution to an integrated control of *Coelaenomenodera minuta* Uh., main pest of *Elaeis guineensis* in West Africa. Modelling of *Coelaenomenodera* population dynamics and practical applications.

R. LECOUSTRE and P. de REFFYE, *Oléagineux*, 1984, 39, N° 10, p. 461-469.

A brief review of the *Coelaenomenodera minuta* problem in West Africa and the results of attempts to biologically control the pest is given. The conception of the model is described in summary form. An example is shown of the good concordance between the calculated population dynamics of the pest and its egg parasites with observed developments. Possible applications of the model are developed in view of optimizing the dates and frequencies of chemical insecticide spraying treatments on the plantations. Finally, the objectives to reach in the future to assure a real extension of this method are described.

RESUMEN

Contribución para la puesta a punto de una lucha integrada contra *Coelaenomenodera minuta* Uh., la mayor plaga de *Elaeis guineensis* en el África occidental. Modelización de la dinámica de poblaciones de *Coelaenomenodera* y aplicaciones prácticas.

R. LECOUSTRE y P. de REFFYE, *Oléagineux*, 1984, 39, N° 10, p. 461-469.

Se recuerda brevemente el problema de *Coelaenomenodera minuta* en el África occidental, y los resultados de los intentos de lucha biológica. Luego se da una descripción sumaria de la concepción del modelo. Se muestra en un ejemplo la buena concordancia de las dinámicas de poblaciones, para la plaga y sus parásitos de huevos, con las evoluciones observadas. Luego se desarrollan las posibilidades de aplicación del modelo, con miras a poner a punto la optimización de las fechas y las frecuencias de intervenciones químicas por pulverización de insecticidas en las plantaciones. Por último se exponen los objetivos a cumplirse más adelante para llevar a cabo una divulgación efectiva de este método.

Contribution to an integrated control of *Coelaenomenodera minuta* Uh., main pest of *Elaeis guineensis* in West Africa

Modelling of *Coelaenomenodera* population dynamics and practical applications

R. LECOUSTRE (1) and P. de REFFYE (2)

INTRODUCTION

Coelaenomenodera minuta Uh. (Coleoptera, Chrysomelidae, Hispinae), whose larvae dig tunnels in the lamina of the leaflet, is the worst enemy of the oil palm in West Africa. The insect provokes defoliation that can result in large production losses.

Field studies in population dynamics show that, very generally, successive generations do not overlap. This leads to discontinuous cycles, which is disastrous for larvae and egg parasites. Field studies also reveal that natural control is essentially assured by two egg parasites [7 to 12].

The introduction from foreign countries of larvae parasites of other palm Hispidae into the Ivory Coast did not succeed in biologically controlling the pest. Chemical insecticides must therefore be used as soon as a critical threshold is reached. Nevertheless, in the Ivory Coast, *C. minuta* already has some strains resistant to certain insecticides (HCH-parathion). Consequently, a wide variety of insecticides should be available to vary usage, and these should be used carefully and sparingly.

To effectively manage the natural potential of controlling pest populations, mathematically modelling the existing equilibria between palm, pest and parasite populations is necessary. Among other things, the model developed should allow the simulation of a probable joint evolution of *Coelaenomenodera* and its egg parasites on a given site, taking into account the constraints of the antagonists' fertility and mortality, as well as the chemical treatment techniques used.

I. — MATHEMATICAL MODELLING OF POPULATION DYNAMICS

Above all, a mathematical model should respect the biological characteristics of the phenomena studied, and the resulting interactions. To be suitable for the problem studied the model should also integrate all of the key factors.

The model developed to illustrate non-linear 3-way interactions between the oil palm, *Coelaenomenodera* and its parasites is based on the theory of variable state systems.

It is considered, excluding accidents, that in industrial plantation conditions, the foliar surface of the palms stays nearly constant in time, its renewal being periodically assured by the emission of young leaves.

On the other hand, the pest certainly comes into contact with palms where it can feed, lay eggs and develop in small to medium defoliation conditions, which do not yet require treatment. As the surface defoliated during the larva development of one insect is known, the defoliation provoked by each generation can be estimated.

After a period of pre-oviposition, the female *C. minuta* deposits eggs on the underside of the leaflet. Laying is neither sudden nor continual, but is distributed in time according to a characteristic curve of the species. This curve is subject to mean fertility, female mortality and the laying rate, which increases very quickly during the first 3 to 4 weeks, then diminishes slowly. The total laying time is, at most, 8 to 10 weeks.

After several generations, this type of laying should lead to a complete mixture of populations at different stages. In natural conditions, the larger the infestation, the more marked the cycles appear to be (see curve of observed living eggs in Fig. 1). The

(1) I.R.H.O., La Mé Research Station, Entomology. B.P. 13 Bingerville (Ivory Coast).

(2) G.E.R.D.A.T. — Data processing. B.P. 5035 — 34032 Montpellier Cedex (France).

periodicity of these cycles is close to 90 days, which roughly corresponds to the insect's mean development period.

It was observed that egg parasites actively look for their hosts, since they even get inside very fine mesh cages. As a general rule, each egg host houses only one parasite. The development cycle of the parasites is about 30 days, taking place entirely inside the pest egg, which is embedded in the parenchyma.

The insect's fertility and the trend of its laying curve in time can be estimated through results obtained by breeding neighboring species [4].

If the parasites are not limited by the number of their hosts, this should rapidly lead to a complete mixture of generations, whereas in experiments, cycles exist (curve of observed parasited eggs in Fig. 2). The periodicity of the parasite is the same as that of the cycles of the pest.

Only the interactions between the pest and the parasites that are calculated with the help of a model will explain the cycle periodicity of the host and the parasites and allow it to be discovered.

The maintenance of these cycles is tied to the fact that only some of the eggs from one *Coelaenomenodera* generation mature into adults of the next generation. When laying begins the parasites are actually not very numerous, and can not effectively control the first eggs laid. On the contrary, at the end of the laying cycle, the parasites infest the majority of the available eggs.

Calculations carried out with the help of a model which is built on these hypotheses are compared to a balanced situation found on a plot at the La Mé Station. Figures 1 and 2 respectively represent the dynamics of living and parasited eggs. Only the values that are particular to the parameters of the model will allow such an even balance to be obtained. The very good concordance between the observed and simulated curves is a proof that the model works well.

In this model, the calculations are subject to values of the following key parameters :

- the renewal of the palm leaf surface,
- the pest's and its parasites' mean mortality by unit of time,
- the length of their respective development cycles,
- their mean fertilities expressed in multiplication rates, i.e. in the number of eggs that would give females, laid by females,
- the trends of their laying curves,
- the surface destroyed during the development of the pest,
- the modes of host-parasite interactions relative to the eggs.

A variation in the value of only one of these parameters can considerably modify the development of the resulting population dynamics.

From populations of living eggs and parasited eggs at a particular moment in time observed on a plot at the Palm-industrie industrial plantation in Boubo in the Ivory Coast (Table I), two development simulations of the numbers of the pest and of its egg parasites at that instant are set up. Only the mortality of the pest eggs is different in these two simulations (Tables II, III). The net difference in development between populations simulated from these two hypotheses can easily be seen in figures 3 and 4.

Subsequently, and with the help of biological observations oriented in the sense of the model, it will be possible to make the parameters evolve continually, according to the modification in time of a key abiotic factor, such as temperature.

The adaptability of this model also allows simulating all kinds of accidents (sudden defoliations, invasions of adult pests), and human intervention (pruning, release of parasites, insecticide treatments).

II. — CHEMICAL TREATMENT OPTIMIZATION

The eggs of the pest are embedded in the thickness of the parenchyma and the larvae mine the leaves. The only vulnerable stage for insecticide treatment is thus the adult stage, when the pest is found on the outside of the leaves.

Several criteria govern the treatments, including the duration of the pre-oviposition period, the remanence of the insecticide used, very short to nil with aerial treatment, and the emergence spread of one generation.

The objective of present day treatments is to kill the maximum number of adults, before the females have the chance to lay eggs, whilst taking account of the criteria listed above. Treatments are therefore carried out by effecting several passes a fortnight apart when the adults emerge. Considering emergence duration, three

treatment rounds are generally made, rarely two or one, but sometimes four.

It will be seen that biological data relative to oöphagous parasite action are not taken very much into consideration.

In the case of a 3-way balance « oil palm-*Coelaenomenodera*-parasites », the effectiveness of insecticide treatments is complex. In fact, treatments also kill external parasite adults antagonistic to *Coelaenomenodera*. Thus, each treatment will have an effectiveness that is largely dependent on the percentage of adult insects killed. This instantaneous effect can be different for the pest and its parasites.

If useful insects associated with the pest are taken into consideration, it is clear that treatment dates and frequencies have a primordial importance. The biological balance interplay is such, that in a short time, it can induce a situation which is worse than what would have happened if there had been no treatments. This is the case, for example, when all of the parasites are eliminated. It is legitimate to think then, that a programme of chemical treatment can be optimized, first, to be effective for longer, and second, to be cheaper if possible by reducing the number of applications, for example.

At the present time, no optimum theoretical solution exists that resolves these complex equations of biological balances with non-linear interactions. As a result, computerized simulations are carried out in order to visualize, through the use of graphs, the development of the system after insecticide treatment by spraying.

The empirical method retained consists in following the joint evolutions of the *Coelaenomenodera* and the oöphagous parasite eggs in a plot during the span of one development cycle, i.e. about 90 days for the pest and about 30 days for the parasite. According to the numbers observed, the simulation programme based on the model calculates predictable population development, allowing for constraints imposed on the key parameters retained.

The treatment applied is thus characterized by its instantaneous effectiveness on the pest and its parasites as well as by the dates of its application. If a given number of treatments are simulated through programming, *Coelaenomenodera* females and the parasites found on the outside of the leaflets are omitted from the calculation, according to the assumed rate of instantaneous effectiveness for the treatment.

By empirically varying the number and dates of the treatments, better solutions than others can be found.

If we revert to biological hypotheses adopted to trace figure 3 (Table II), it will be seen in figure 5, that treatment in three rounds 15 days apart (Table IV), though effective, has also sharply reduced egg parasite populations. Two rounds of treatment, carefully placed and spaced 15 days apart (Table V), will, as shown in figure 6, allow the parasites to multiply and replace the third treatment without diminishing long-term effectiveness.

In plantation conditions at Boubo, oöphagous parasite activity is poor, which results in a more disastrous situation than that represented in figure 4. A situation similar to that of Boubo can be simulated by using the biological data given in table VI.

With these hypotheses, we see that three treatments (Table VII) would have left a non-negligible residual population (Fig. 7), which, attacked only slightly by the parasites, is capable of quickly multiplying to a critical threshold. Only four treatments (Table VIII) would have ensured remission for more than one year, as shown in figure 8.

This plot did not require treatment during August and September 1983. Nevertheless, some of the plots on this plantation that were treated in three rounds will certainly need a new treatment after the first quarter of 1984, even though instantaneous effectiveness was more than 98 p. 100.

This step-by-step study of optimization is in marked progress compared to present-day decisions that are largely based on a long experience of the environment, since it depends on biological data and interactions. This study is still insufficient because the many possible combinations do not enable the optimum solution to be found, except by chance. More effective solutions, or solutions identical to present-day treatments will not be the only ones to be found.

Automatizing the model calculations in the search for an optimum theoretical solution would, by means of calculations and data processing, immediately allow the optimized dates and frequencies of the treatment to be obtained, starting with a given situation. Subsequently, there would be precise data on the sensitivity of the development of the balance with respect to measurement errors on the different parameters involved.

CONCLUSION

Using biological hypotheses stemming from observations carried out for several years, it was possible to construct a 3-way biological balance model between oil palm, *Coelaenomenodera* and egg parasites.

This model is based on key parameters and equations that account for population growth and development of the antagonists as well as their interactions.

Present-day chemical spraying treatments are planned by the empirical utilization, based on acquired experiences of previously collected biological data. The complexity of the interactions involved can sometimes lead to the treatment failing, even though it appeared instantaneously effective.

A new prospect is ahead by the development of biomathematics and data processing. The model of biological equilibrium developed can already be used on a small scale to carry out trials to optimize chemical treatments based on joint development of populations of *C. minuta* eggs and the oöphagous parasites. For the moment this can be done on condition that precise observations are made with a binocular lens.

For the ultimate practical application, the method of field observations to be carried out by teams of phytosanitary controllers are being studied, and trials will be realized. The results of this work will be the object of a later publication.

Finally, automatizing the calculations of this model will ease and make more effective its application as an operational and estimational model for development firms and user plantations.

Bibliographie

OILSEED, OIL AND FAT PROCESSING TRAITEMENT DES GRAINES OLÉAGINEUSES, DES HUILES ET DES GRAISSES

E. BERNARDINI

1983-1984 — 2 vol., 1300 p., — Prix : 130 \$ U.S.

Avec cet ouvrage, qui fait suite à « Tecnologia Olearia » publié en 1971 et « The new Oil and Fat Technology » publié en 1973 (dont il existe une version espagnole, 1981), l'auteur, fort d'une expérience de plus de 50 ans, apporte à nouveau une importante contribution à la technologie des matières grasses.

Toutes les informations publiées dans les ouvrages précédents ont été révisées et les derniers développements enregistrés au cours de la dernière décennie ont été incorporés. De nombreux tableaux et figures illustrent l'ensemble.

L'ouvrage se présente en 2 volumes. Le 1^{er} volume qui comporte 15 chapitres est consacré aux matières premières et aux techniques d'extraction. Le 2^e traite en 15 chapitres également les différents aspects du traitement des huiles alimentaires. On notera aussi la présence, en annexe, de tableaux techniques et de 16 méthodes analytiques A.O.C.S.

Cet ouvrage sera d'une très grande aide pour les industriels et les techniciens confrontés aux problèmes de l'industrie des corps gras.

Volume I.

- Planification d'une huilerie ;
- Matières premières oléagineuses (soja, tournesol, arachide, palmier à huile, coton, cocotier, colza, olive, sésame, maïs, pépins de raisin), huiles et graisses végétales et animales ;
- Séchage ;
- Stockage ;
- Matériel de transport ;
- Préparation ;
- Pressage ;
- Extraction aux solvants ;
- Extraction aux solvants sans pré-pressage ;

- Equipement auxiliaire pour l'extraction ;
- Conservation de l'énergie et récupération de la chaleur ;
- Techniques de traitement particulières (son de riz, ricin, cacao) ;
- Tourteaux et protéines ;
- Graisses et protéines animales ;
- Scission des corps gras — Distillation des acides gras — Fractionnement — Récupération et raffinage de la glycérine.

Volume II.

- Huiles, graisses et leurs caractéristiques ;
- Démucilage des huiles et élimination des léci-thines ;
- Neutralisation, lavage et séchage ;
- Neutralisation dans le miscella des huiles très acides — Raffinage physique — Estérification ;
- Blanchiment ;
- Filtration ;
- Désodorisation ;
- Wintérisation ;
- Cristallisation fractionnée des huiles et acides gras ;
- Hydrogénation ;
- Traitements particuliers (intéressant huile de palme et huile de poisson) ;
- Margarine et shortenings ;
- Conditionnement des produits alimentaires ;
- Autres dérivés — Esters — Alcools gras — Amines — Amides...
- Savon.

Pour tous renseignements complémentaires, s'adresser à : B. E. Oil, Via Falla 63 — 00128 Rome (Italie).