## **PARTIE I**

Etude et modélisation
du cycle biologique
et dynamique des populations
du criquet pèlerin.
Le point sur la situation acridienne

1

### Evolution des invasions de Schistocerca gregaria (Forsk, 1775) au Maroc durant les années 1987 et 1989

A. ARIFI

DPVCTRF, BP 1308, Rabat, Maroc

#### Introduction

Depuis le début du siècle, le Maroc a connu six cycles d'invasions d'ampleur variable par le criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*. De 1914 à 1988, le Maroc a été envahi 33 fois par ce fléau.

Des essaims se sont souvent cantonnés dans le Sud et le Centre du pays, mais des cas d'invasions généralisées sont rapportés, à titre d'exemple les années 1918-19; 1929-30 et 1954-55 (Rungs, 1966). Les invasions antérieures furent en général caractérisées par la lenteur et l'échelonnement des arrivées d'essaims ; ce qui a facilité la lutte.

Le dernier cycle d'invasion, amorcé en octobre 1987, trouve son origine dans les deux cas suivants :

- L'insuffisance très marquée de la lutte préventive. En effet le long cycle de sécheresse sévissant dans les pays situés dans les zones grégarigènes a décimé les populations acridiennes, et a réduit l'acuité de la problématique acridienne. La lutte bien menée par l'OCLALAV, jusqu'à la fin des années 70 est devenue aléatoire depuis 1980 pour des considérations financières : diminution de l'enveloppe financière provenant des contributions des Etats-membres, retrait de l'appui financier de la France et du PNUD en 1985-86.
- Le retour des conditions écologiques favorables au niveau des foyers et aires de grégarisation : les reproductions de 1986 dans la partie occidentale de la Mer Rouge ont donné des essaims de criquets dont la grande majorité s'est dirigée vers le Soudan et l'Ethiopie ; les reproductions hivernales dans cette région en fin 1986 début 1987, et estivales dans les pays du Sahel favorisées par une pluviométrie abondante et précoce ont

été à l'origine de migrations importantes d'essaims en octobre 1987 vers l'Afrique du Nord-Quest.

L'invasion acridienne, dont le Maroc a fait l'objet en 1987 et surtout en 1988 rappelle par son ampleur et la brutalité de l'irruption des essaims, les invasions les plus graves subies par le passé.

#### Invasions du Maroc par le Criquet Pèlerin

Depuis l'automne 1987 jusqu'au mois de mars 1989, le Maroc a dû faire face à trois campagnes de lutte anti-acridienne. Chaque invasion, ayant des caractéristiques spécifiques, a impliqué des approches de stratégies nuancées et des adaptations particulières des moyens mis en oeuvre dans la lutte.

#### L'invasion de l'automne 1987

Les premières signalisations d'incursions de criquet pèlerin au Maroc, communiquées au Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire le 17 octobre 1987 proviennent de la région d'Al-Mehbès à quelques dizaines de kilomètres des frontières algérienne et mauritanienne. A partir du 25 octobre, la région de Figuig a reçu les premiers vols importants pénétrant par les voies de Béchar et Aïn Sefra en territoire algérien.

Le 26 octobre 1987 des signalisations inquiétantes parviennent de la localité de Tazouguerte entre les villes d'Errachidia et Boudnib. D'autres essaims sont signalés dans la région de M'Hamid le 28 octobre. Le 30 du même mois, des essaims ont atteint Zagora, Tazarine et Foum Zguid. Les régions de Tata, de Guelmim et de Bouarfa sont envahies à leur tour dès le début de novembre par les criquets. Ainsi, en moins de 10 jours après la première signalisation d'Al-Mehbès, tout l'axe du territoire national allant de Bouarfa à Tan-Tan a été infesté par des essaims. A partir du 10 novembre, d'autres essaims sont signalés dans les provinces sahariennes : Tichla, Awserd, Gueltat-Zemmour et Smara, où des précipitations importantes sont tombées pendant la dernière décade du mois d'octobre (comm. prospecteurs); ce qui a démarré le cycle végétatif des ressources alimentaires du criquet dans ces régions.

#### Axes d'infiltration des essaims

La connaissance des axes de pénétration des essaims et leur progression à l'intérieur des zones envahies a toujours constitué une préoccupation majeure des organisateurs des opérations de la lutte anti-acridienne.

La compréhension des déplacements des essaims permet en effet de mieux organiser les équipes de prospections et de déployer les moyens de traitement dans les localités les plus visitées par les essaims. A partir des signalisations quotidiennes, il a été permis de tracer les axes les plus importants que les essaims semblent privilégier.

#### Région d'Errachidia

Pour la zone couverte par le Poste de commandement d'Errachidia, les infiltrations des criquets ont débuté le 26 octobre 1987 et se sont arrêtées le 22 novembre 1987. Suivant les directions cardinales, les axes empruntés par les criquets sont les suivants :

- Sud-Ouest → Nord-Est: les essaims pénètrent par la zone d'Alnif, Mcissi, Fezou et Oum-Jrane. A partir de cette zone ils se dirigent vers Tinjdad, Mellab et Goulmima. Les essaims continuent leurs déplacements pour atteindre finalement la zone d'Amellago et Tadighoust.
- Sud-Est  $\rightarrow$  Nord-Ouest : les essaims vont de Boudnib Tazougart vers Errachidia et Gourrama pour enfin atteindre Rich.
- Est  $\rightarrow$  Ouest : les essaims en provenance de Talsint, transitent par Gourrama pour atteindre Rich.

Près des 2/3 des essaims signalés proviennent de la région d'Alnif.

#### Région d'Ouarzazate

Les premiers vols d'essaims sont signalés à Tagounit le 26 octobre 1987 en provenance de M'Hamid El-Ghozlane. Les essaims atteignent Zagora dès le 30 octobre 1987.

La progression des essaims à partir de Zagora s'est effectuée selon trois directions :

- Nord  $\rightarrow$  Est : vers l'Est de Tazzarine et Taghbalt.
- Sud → Ouest: vers la vallée de Bourbia, El-Merja et Blida.
- Sud → Nord: le long de la vallée du Drâa vers le Sud d'Ouarzazate.

Quant aux essaims en provenance de l'Oued-Drâa, il se dirigent vers Agadir Tissint, Akka - Irhane, Foum Zguid et Zaouiate Sidi Abdenbi. Les vols localisés à Sidi Abdenbi n'ont pu traverser la chaine du Jbel Bani, il en est de même pour les essaims de Foum Zguid que la chaine montagneuse a arrêtés. Les foyers signalés du Nord de Foum Zguid à Allougoume proviennent soit du Sud-Ouest par le couloir entre Tata - Akka Iguerne en remontant vers le Nord-Est, soit par l'Est après avoir remonté au niveau du massif de Bouasser. De là, ils atteignent Foum El Oued puis Allougoume. Les essaims envahissant la région de Tazzarine proviennent soit d'Alnif, soit de Zagora à travers le couloir d'Iminouassif.

A partir de la fin du mois d'octobre jusqu'à la fin du mois de novembre, aucune signalisation de pénétration d'essaims n'est notée. En décembre, quelques infiltrations se sont produites à partir de la province de Tata.

#### Région de Tata

Les pénétrations des essaims se sont faites surtout du Sud-Est à partir de :

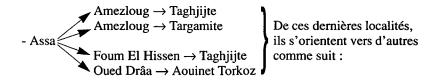
- Foum Tangarfa, Oumatifis et Foum Alguime en direction de Tata. Aaddana, Taffagounte vers Akka.
  - Foum lâacher, Tuisgui Remz en direction de Foum El Hissen.

#### Région de Guelmim

En ce qui concerne les provinces couvertes par le Poste de commandement de Guelmim, la pénétration des essaims s'est opérée par les différents cols des Jbels ouarkziz et Bani.

Pour la province de Guelmim, les principaux axes empruntés par les essaims sont :

- Zag → Assa



- Aouinat Torkoz → Taïdalt
- Taskala → Amane Aït Oussa → Taïdalt
- Taïdalt → Borj Tiglit → Ras Agouyam
- Taskala → Tighlit → Ras Agouyam
- Taghjijt → Aday → Bouizakarne → Tlat Lakhsass
- Rass Agouyame  $\rightarrow$  Tarhat  $\rightarrow$  Labiar  $\rightarrow$  Plage blanche.
- Plage blanche  $\rightarrow$  Ras Tarf  $\rightarrow$  Ksabi.
- Aït Aoussa  $\rightarrow$  Khneg lahmoum  $\rightarrow$  labiar.

Au niveau de la province de Tan-Tan, les infiltrations d'essaims ont suivi les directions suivantes :

- M'sied → Tilimzoune → Oued Drâa → Aït Aoussa.
- M'sied → Tilimzoune → Oued Drâa → Aourioura.
- Oued Chbika → Tan-Tan Plage → Embouchure Oued Drâa.

La province de Tiznit a été alimentée à partir des axes suivants :

- Oued Tamanar → Izerbi.
- Izerbi Tarsouat → Tafraout → Aït Abdellah.
- Assif N'int → Affela Ighir → Tafrouat.
- Izerbi → Ait Ouafka Tifermit → Anzi, ou → Ras Mouka → Tiznit.
- Jemaa N'Tighirt → Aït Ouafka.

#### Provinces sahariennes

Les essaims provenant de la Mauritanie et de l'Algérie, convergent vers le triangle Smara - Boucraa et Izik Hagounia. Ces essaims s'orientent par la suite vers le Nord en direction de l'Oued Drâa.

#### Bouarfa

Les infiltrations enregistrées ont transité par Aïn Chair. Leur progression a été interrompue par la chaine montagneuse de Jbel Lakhdar. Un autre couloir est constitué par l'axe Tniet Zait et Mâadar El Kabch. Du côté frontalier Est, les essaims se sont déplacés selon trois directions :

- entre la localité de Figuig et Jbel Laamour.
- entre la localité d'Ich et Bab Rouach. Ce couloir est orienté vers Bouarfa par Jbel Klakli.
  - par la cuvette de Chott de Tigri.

#### Durée de l'invasion automne 1987

A partir du mois de novembre 1987 tout l'axe allant de Bouarfa à Tan-Tan a fait l'objet d'incursions d'essaims de criquets. L'échelonnement des infiltrations a été variable selon les régions (Tableau I).

Les invasions les moins importantes ont concerné la région de Bouarfa où aucun foyer de criquets n'a été observé depuis le 13 novembre 1987. L'arrêt des infiltrations pour la zone d'Errachidia a été noté à partir du 22 novembre. Les traitements réalisés au-delà de cette date n'ont concerné que des foyers résiduels couvrant de très faibles superficies, ils ont été achevés le 11 décembre 1987.

La région d'Ouarzazate a vu cesser les infiltrations de criquets à partir du 12 novembre. Les traitements se sont néanmoins échelonnés durant tout le mois de novembre. De ce qui précède on peut affirmer que pour les régions de Bouarfa, d'Errachidia et de Ouarzazate l'invasion a été de courte durée oscillant entre 13 à 27 jours.

La zone couverte par le Poste de commandement de Tata a subi des infestations importantes au mois de décembre, les superficies touchées par les essaims sont trois fois plus importantes que celles inventoriées au mois de novembre.

Les opérations de lutte contre les adultes ont duré d'une façon presque continue jusqu'au 16 janvier 1988. Au-delà de cette date, les traitements engagés n'ont concerné que de petits foyers résiduels.

La région de Guelmim, a connu une invasion ininterrompue jusqu'au 14 janvier 1988. Après un mois d'accalmie les infiltrations ont repris à partir du 13 février 1988. (Tableau I).

En conclusion l'invasion acridienne subie par le Maroc en octobre 1987 a été limitée dans le temps pour les régions de Bouarfa, Errachidia et Ouarzazate (13 à 27 jours), assez longue pour la zone de Tata (plus de deux mois), très étalée pour Guelmim (trois mois). Pour les zones sahariennes les infiltrations repérées au mois de novembre, n'ont pu être traitées en totalité, vu l'étendue du territoire. Les vagues d'essaims ont continué à progresser vers le Nord en direction de l'Oued Drâa, durant les mois de décembre, de janvier et de février 1988.

Les populations acridiennes, qui ont envahi le Maroc durant l'automne 1987, sont composées d'adultes immatures dans les régions de Bouarfa, d'Errachidia et de Ouarzazate.

Tableau I. Durées de l'invasion 1987-1988.

régions	début de l'invasion	fin de l'invasion	durée en jours	
Bouarfa	1/11/1987	13/11/1987	13	
Errachidia	26/10/1987	22/11/1987	27	
Ouarzazate	26/10/1987	12/11/1987	17	
Tata	3/11/1987	16/1/1988	68	
Guelmim	1/11/1987 13/2/1988	14/1/1988 27/2/1988	90	
Provinces Sahariennes	10/ 11/1987	nd*	nd*	

<sup>\*:</sup> non déterminé.

Pour la zone de Guelmim, le taux de maturité des essaims estimé à 25% au début de l'invasion a évolué rapidement pour atteindre 75% en novembre et en décembre. Au niveau de Tata et des provinces sahariennes les essaims sont en majeure partie formés d'individus mâtures. La ponte a débuté dès la 2<sup>e</sup> quinzaine de novembre 1987 dans l'Oued Drâa et les zones de Guelmim, de Laayoune, de Dakhla et de Smara.

#### Invasion du printemps-été 1988

#### Axes de pénétration

Les itinéraires empruntés par les essaims, se récapitulent comme suit :

#### Errachidia et Ouarzazate

Les infiltrations d'essaims dans la région d'Errachidia ont débuté le 7 mars 1988 et ont duré 1 mois. Elles ont été continues sur l'axe Aïn Chouatar - Boudenib, discontinues sur les axes d'Alnif et Taouz avec une période de répit entre le 19 et le 26 mars 1988. Les superficies infestées durant cette invasion ont pu être évaluées à près de 135 000 ha. Les axes Aïn Chouater Boudenib et Alnif Saghro englobent près de 70% des superficies infestées, le reste se localise dans les couloirs de Taouz et les environs de Gourrama. Les populations de criquets sont composées d'adultes mâtures, dont la mobilité réduite a facilité les traitements de destructions qui se sont échelonnés du 9 mars au 16 avril 1988. Au-delà de cette date, les interventions n'ont porté que sur de très faibles superficies.

Pour la zone d'Ouarzazate, les infiltrations d'essaims mâtures ont commencé au début du mois de mars. Les criquets empruntent les mêmes couloirs que ceux utilisés en automne 1987. Les infestations ont été plus importantes au mois d'avril, les superficies touchées sont estimées à plus de 150 000 ha.

#### Tata - Guelmim

Dans la zone de Tata les pénétrations de criquets se sont faites surtout par les axes Sud-Ouest de Tizgui Remz – Ideldel – Tafagount et par l'Est : Faïja Akka Ighane – Tata. A partir du 13 avril aucune incursion du criquet pèlerin n'eut lieu.

En ce qui concerne les provinces couvertes par le PC de Guelmim la pénétration des essaims s'est opérée par les différents cols du Jbels Ouarkziz et Bani.

Les axes empruntés sont les mêmes que ceux de l'automne 1987. 99% des effectifs de criquets prélevés sont des adultes mâtures. Le maximum des infiltrations s'est effectué au mois de mars. Les opérations de traitement ont cessé à partir du 15 avril 1988.

#### Provinces sahariennes

A partir du 9 mars 1988, plus de 10 essaims sont signalés à Gueltat Zemmour. En général ces vols se dirigent vers le Nord-Ouest du Maroc.

#### Bouarfa - Oujda

Les essaims qui ont envahi les provinces de l'oriental au printemps ont pénétré à Bouarfa par le côté frontalier Sud au niveau Tafe Jaght et de Oued Jdid.

L'infiltration pour Oujda s'est faite par l'axe de Jnane Krater vers Fourchal. L'invasion a concerné en totalité le cercle de Jerrada.

#### Durée de l'invasion

Les conditions climatiques ayant prévalu au Nord de la Mauritanie, du Mali et des régions environnantes ont favorisé le développement des larves issues des reproductions hivernales. Les prospections effectuées au mois de février 1988 au Nord de la Mauritanie ont révélé une forte infestation des larves couvrant au moins 300 000 ha.

Au cours du printemps et de l'été 1988, des invasions acridiennes, associées à l'émergence des populations autochtones, se sont étalées sur des durées oscillant entre 20 et 107 jours (Tableau II).

Pour toutes les régions, les invasions ont commencé dès la première semaine de mars. Dans la région d'Oujda, l'invasion a cessé dès le 24 avril.

Quant aux autres régions, elles ont continué à être envahies par des criquets jusqu'au mois de juin, cas de Tata, de Bouarfa et des provinces sahariennes; ou de juillet, cas d'Errachidia et de Guelmim. Des accalmies de durées différentes sont cependant observées en avril et en mai (Tableau II).

#### L'invasion de l'automne-hiver 1988-1989

Le Maroc a été de nouveau confronté à une invasion acridienne beaucoup plus brutale que celles de l'automne 1987 et du printemps 1988.

Tableau II. Durée de l'invasion durant le printemps et l'été 1988.

régions	début de l'invasion	fin de l'invasion	durée en jours	
Emanhidia	7/3/1988	16/4/1988	90	
Errachidia	19/5/88	8/7/1988	90 	
Ouarzazate	7/3/1988	26/4/1988	107	
	15/5/1988	11/7/1988	107	
Tata	5/3/1988	13/4/1988	76	
	19/5/1988	25/6/1988		
Guelmim	1/3/1988	18/4/1988	103	
	18/5/1988	12/7/1988		
Bouarfa	9/3/1988	24/4/1988	75	
	28/5/1988	26/6/1988		
Oujda	4/4/1988	24/4/1988	20	
Provinces	6/3/1988	19/4/1988	85	
Sahariennes	8/5/1988	18/6/1988	63	

#### Axes de pénétration

#### Région de Guelmim

Les températures relativement élevées en automne (25 à 30°C) ainsi que les vents d'Est ont favorisé les déplacements des essaims à très haute altitude dépassant parfois 2000 m et parcourant des distances allant à plus de 60 km/jour. Les passages empruntés par les essaims au niveau des provinces couvertes par le PC de Guelmim sont les suivants :

• Province de Tan-Tan

Les essaims s'envolent selon deux couloirs, à partir de Oued Chbika → Tan-Tan Plage → embouchure Oued-Drâa et à partir de Tilimzoune → Aït Aoussa → embouchure Oued-Drâa.

• Province de Guelmim

Les axes empruntés sont moins nombreux que ceux des autres campagnes. Deux directions principales ont été notées : de la plage blanche vers d'une part Sidi Ouerzeg, et d'autre part vers Ras Tarf  $\rightarrow$  Sbouya  $\rightarrow$  Mesti-Tioughza.

· Province de Tiznit

Les essaims arrivent à la plaine de Tiznit soit par Sidi Ifni et Aglou, soit par Tioughza. La répartition des zones infestées relevant du PC de Guelmim se présente comme suit : 74% se trouvent à l'Ouest de Tiglit; 18% entre Tiglit, Aouinat Torkoz et Tamoumout; 8% Est Aouinat Torkoz.

#### Région de Tata

Les principaux couloirs de pénétrations sont situés au Sud de la Province.

Les essaims progressent vers Tata en provenance de Foum Tangarfa, Oumatifis et Foum Alguime. La zone de Foum El Hissen est alimentée à partir de Ideldel, Foum Lâachar et Tuizgui Remz.

Quelques essaims se sont infiltrés soit par l'Est de la province par l'axe Faïja - Akka Ighane soit par l'Ouest par Taghjijt - Taguojgalt Tamanart.

#### Région de Taroudant et d'Agadir

Les essaims qui ont déferlé sur la province de Taroudant proviennent des quatre axes suivants :

- Axe Tagmout  $\rightarrow$  Ighrem  $\rightarrow$  Taroudant
- Axe Foum Aoujou ou Foum Amaghou → Issafen → Ighrem → Taroudant
- Axe Azagharmi → Taroudant
- Axe Taliouine → Aoulouz et El Faïd

Pour la province d'Agadir on a pu noter deux axes principaux :

- Axe Tafraout → Aït Baha → Biougra par Iminakouren
- Axe Oued Massa → plaine de Massa → Chtouka.

#### Région d'Ouarzazate

L'invasion acridienne s'est déclarée à partir du 10 octobre 1988. En moins d'une semaine toute la zone relevant du PC d'Ouarzazate a été infestée. Les essaims ont évolué selon les axes suivants :

- A partir de M'Hamid

- vers le Nord le long de la vallée du Drâa et d'autres couloirs à l'Est.
- vers l'Ouest et le Nord-Ouest en direction de Foum Zguid. A partir de cette localité les criquets ont progressé vers le Nord, en passant par Allougoum puis la vallée de Tagragra.
  - A partir de Taghbalt
  - vers Tazarine, puis le Nord-Ouest et l'Ouest vers Nkob.
  - A partir de Tinghir

Les essaims observés à ce niveau provenaient de l'Est et du Sud-Est. 1ls progressent à partir de Tinghir vers l'Ouest pour arriver à la plaine de Ouarzazate en passant par Skoura.

#### Région d'Errachidia

L'apparition des premiers essaims a été signalée le 9 octobre 1988. Les couloirs empruntés sont les mêmes que ceux de la campagne printanière. Les zones les plus infestées sont enregistrées au niveau de l'axe SW-NE correspondant aux localités de Tinjdad - Tourouz, Ifegh - Amellage - Alnif, Oum Jnane et Fezou . Les superficies touchées sont évaluées à 67 000 ha soit 53% du total des superficies infestées. L'axe Boudenib, Kaddoussa et Talbidate englobe 32% des zones infestées. L'axe Taouz, peu actif, ne représentent que 15% des zones infestées.

#### Régions de Laayoune et Dakhla

Les infiltrations des criquets pèlerins ont été signalées le 29 septembre 1988 dans le secteur de Bir-Guendouz. L'origine des essaims qui ont pénétré au Sahara provient de l'Est : 49% des essaims signalés, du Sud : 30% et du Nord-Est : frontière maroco-algérienne 19%.

#### Missour

Les pénétrations dans la zone de Missour se sont opérées par Oued Zerionati, Nif ziane et Hassi El Ahmar, Meslakh et Bou Reddine.

#### Bouarfa

Les pénétrations ont eu lieu d'une part par Figuig à travers la localité de Zouz Fana et d'autre part à partir de Boudenib par la vallée de Tazougert jusqu'à Fej Errih.

Les zones les plus infestées relèvent du cercle de Bani-Tadjit plus spécialement les communes de Talsint : 20 000 ha infestés et de Tadjit: 14 000 ha. La commune la moins infestée est celle de Figuig : 240 ha.

#### Oujda

La plupart des infiltrations proviennent de l'Est et du Sud-Est en direction de l'Aéroport des Angades, de Touissit de cadet El Hal et de Oglat et Mangoub. Un autre couloir a été signalé de Drâa El Ghoziane vers Oglat Meriji et de Merzratene vers El Atenf.

#### Durée de l'invasion

Durant cette campagne, l'invasion acridienne s'est échelonnée sur une durée allant de 1 à 141 jours selon les régions (Tableau III).

Tableau III. Durée de l'invasion 1988 - 1989.

régions	début de l'invasion	fin de l'invasion	durée en jours
Bouarfa	10/10/88	19/12/88	72
Errachidia	10/10/88	26/2/89	140
Ouarzazate	10/10/88	27/1/89	110
<b>F</b> ata	11/10/88	28/2/89	141
Guelmim	21/10/88	24/2/89	127
Dujda	17/10/88	16/1/89	91
Laayoune	23/10/88	9/2/89	110
Dakhla	31/10/88	30/12/88	61
Aït-Melloul	29/10/88	27/12/88	60
Khénifra	9/11/88	4/12/88	25
Missour	6/11/88	2/12/88	27
Marrakech	15/11/88	15/11/88	1

A partir du 10 octobre 1988 les provinces de Bouarfa, Errachidia, Ouarzazate et Tata sont infestées. Oujda, Guelmim et Aït-Melloul ont été envahies respectivement dès le 17 octobre 88, le 21 octobre 88 et la fin du même mois. La durée de l'invasion a varié en fonction des zones. D'une façon générale, elle a été supérieure à deux mois pour les régions frontalières.

L'arrêt des infiltrations les plus importantes a été noté vers la fin du mois de décembre pour les PC d'Errachidia, Bouarfa, Oujda et Dakhla. Pour Tata, après une accalmie constatée au mois de janvier 1989, les essaims ont repris leur déferlement en février 1989. Les zones de Laayoune et Guelmim ont été soumises à une invasion plus soutenue et plus longue qui s'est perpétuée jusqu'à la fin du mois de janvier et une partie du mois de février 1989.

La caractéristique des essaims durant l'automne 1988 réside dans leurs fortes concentrations nocturnes. Les essaims posés au sol couvrent des surfaces dépassant parfois 30 000 ha. Les vagues d'essaims observées au mois de janvier et février sont très denses ; les densités estimées varient de quelques individus à plus de 500 individus au mètre carré. Bien que d'apparence homogène les populations composant des essaims sont en évolution phasaire (Mouhim, 1989).

Les observations faites sur le terrain révèlent que les essaims sont en majorité immatures; les dissections réalisées sur des femelles jaunissantes ont montré que leurs ovaires sont peu développés. Le maintien des essaims à l'état sexuel immature semble être dû aux conditions écométéorologiques défavorables (températures hivernales parfois en dessous de zéro, végétation peu développée...) d'une part et aux traitements conduits sur ces essaims d'autre part.

#### **Traitements**

#### Traitement d'automne 1987-1988

#### Traitement contre les adultes

1ls ont débuté vers le 27 octobre 1987 et se sont poursuivis jusqu'au mois de février 1988. Durant cette période, il a été possible grâce aux moyens aériens et terrestres déployés de venir à bout de 200 691 ha d'adultes (fig. 1).

C'est durant les mois de novembre et décembre que 95% des superficies ont été traitées avec respectivement 51% et 44%. La zone couverte par le PC de Guelmim a été celle la plus visitée par les essaims (57%) des surfaces traitées dans cette région. Elle est suivie de Tata (15%), d'Errachidia (12%) et d'Ouarzazate (12%). Les autres régions représentent de faibles pourcentages (fig. 1).

La région de Bouarfa, d'Errachidia et d'Ouarzazate ont réalisé 97,3% des opérations de traitements en novembre, alors que pour Guelmim et Tata c'est le mois de décembre qui a coïncidé avec le maximum des surfaces traitées (59%).

L'intervention sur les populations adultes a été cependant très réduite dans les zones sahariennes.

#### Traitements contre les larves

Les premiers accouplements observés dans les provinces sahariennes à Oued Drâa et dans la région de Guelmim sont rapportés le 16 novembre 1987. La ponte a commencé le même jour. Des éclosions ont été observées dès la deuxième décade de décembre.

Les opérations de traitement contre les larves ont débuté le 23 décembre 1987. Elles sont poursuivies jusqu'au mois de mars 1988. C'est surtout au niveau des zones sahariennes que des superficies les plus importantes sont traitées. La superficie totale traitée à l'échelle nationale est de 162 157 ha, dont 51,7% à Dakhla et 40,6% à Laayoune.

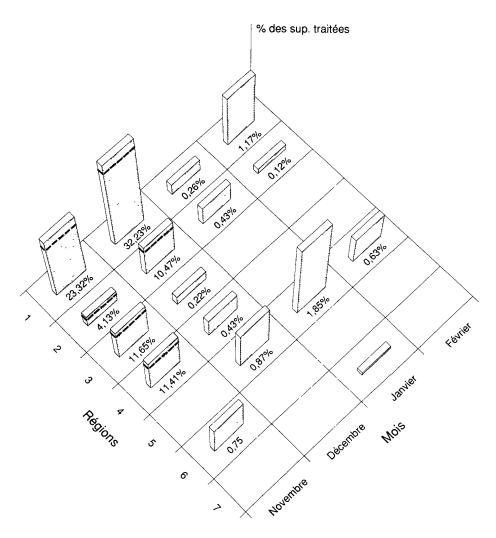
Les superficies infestées de larves issues de la reproduction hivernale sont moins importantes dans les zones de Guelmim et de Tata : 12 246 ha.

#### Traitement du printemps-été 1988

#### Lutte contre les adultes

Depuis le 2 mars 1988 jusqu'au 27 avril 1988, les surfaces traitées contre les adultes en général mâtures ont atteint 921 752 ha. Durant le mois de mars près de 65% des superficies infestées ont été traitées. La zone de Guelmim, la plus infestée du Royaume (343 865 ha) représente à elle seule 37,31% de la surface totale traitée. Viennent ensuite Ouarzazate (27,15%), Bouarfa (16,83%), et Errrachidia (8,80%). Les autres régions représentent de faibles proportions des surfaces traitées (fig. 2).

La destruction de plus d'un million d'ha de larves n'a pu éviter l'émergence de jeunes ailés issus de la reproduction printanière effectuée au Maroc. Une quinzaine de jours après



**Figure 1.** Importance des superficies traitées au Maroc contre le criquet pèlerin durant l'automnehiver 1987-1988. (\*) 1 = Guelmim; 2 = Tata; 3 = Errachidia; 4 = Ouarzazate; 5 = Laayoune; 6 = Bouarfa; 7 = Dakhla.

l'arrêt des traitements contre les adultes mâtures (du 1 au 15 mai 1988), la lutte a repris sur les adultes immatures à partir du 16 mai à Foum Zguid, Assa, Erfoud, etc,..., pour ne se terminer qu'au mois de juillet. La superficie globale traitée est évaluée à 465 563 ha, dont 30% réalisés au mois de mai, 64% en juin et 5% au mois de juillet. (fig. 2).

Comme précédemment, près d'un tiers des surfaces traitées sont localisées à Guelmim, 23% à Ouarzazate, 22% à Errachidia et 19% à Tata.

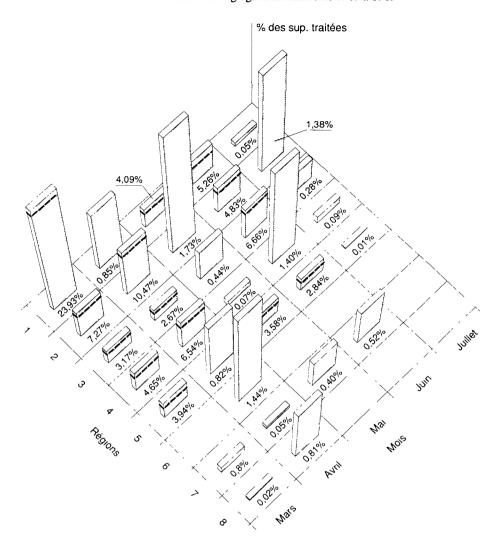


Figure 2. Importance des superficies traitées au Maroc contre le criquet pèlerin durant le printempsété 1988. (\*) 1 = Guelmim; 2 = Ouarzazate; 3 = Errachidia; 4 = Bouarfa; 5 = Tata; 6 = Oujda; 7 = Laayoune; 8 = Dakhla.

#### Lutte contre les larves

Bien que les moyens déployés pour détruire les adultes mâtures soient considérables, des pontes furent déposées dans la majorité des régions visitées par le criquet.

Les premières éclosions sont notées à Tata et à Guelmim le 30 mars 1988.

Les traitements anti-larvaires ont démarré dans l'ensemble des zones touchées dès la première semaine d'avril, à l'exception de l'Oriental. Au niveau de cette dernière région, la lutte contre les larves a commencée le 20 avril 1988 à Bouarfa et le 25 mai 1988 à Oujda. L'utilisation des moyens terrestres, notamment les atomiseurs à dos, a permis d'entreprendre une lutte efficace sur des petites superficies et sur les zones inaccessibles par voie aérienne. Les traitements anti-larvaires se sont étalés sur une période de 17 jours dans la province d'Oujda et sur 3 mois à Guelmim. Pour toutes les autres régions infestées, la lutte a durée environ deux mois.

La superficie totale infestée traitée contre les larves au niveau national est évaluée à 1 051 708 ha. C'est durant le mois de mai que près des deux tiers de celle-ci sont débarrassés des pullulations de larves. Le PC de Guelmim a traité près d'un tiers du total des superficies infestées. Le reste a concerné les autres régions : Tata (23,24%), Bouarfa (17,10%), Ouarzazate (13,14%), Errachidia (8,66%), Laayoune (4,92%), Dakhla (2,64%), Oujda (0,74%).

#### Traitement d'automne 1988

Les traitements ont porté sur des adultes immatures, caractérisés par une mobilité remarquable (envols de plus de 60Km/jour), volant souvent à haute altitude, et n'empruntant pas toujours les couloirs utilisés lors des campagnes précédentes. L'utilisation massive des moyens de lutte a permis de traiter une superficie évaluée à 1 989 622 ha (dont 93,45% par voie aérienne) (fig. 3). Les surfaces moyennes traitées quotidiennement se répartissent dans le temps comme suit :

du 10/10/88 au 31/10/88 : 10 709 ha/jour 1/11/88 au 30/11/88 :32 316 ha/jour 1/12/88 au 31/12/88 :17 788 ha/jour 1/ 1/89 au 31/1/89 : 6 852 ha/jour 1/ 2/89 au 28/2/ 89 732 ha/jour 1/3/89 au 5/3/89 32 ha/jour

C'est durant le mois de novembre 1988 que les superficies les plus élevées ont été traitées. Le maximum des surfaces traitées a été de 81 338 ha le 15 novembre 1988; les zones envahies se trouvent en grande majorité à Guelmim : 23 650 ha ; à Tata : 17 362 ha et Aït-Melloul : 14 900 ha (fig. 3).

Au mois de décembre à 12 reprises, les traitements réalisés quotidiennement ont concerné des surfaces variant entre 15 000 et 25 000 ha. Le maximum a atteint 45 000 ha le 13 décembre 1988. Durant cette campagne, c'est encore le PC de Guelmim qui a traité 41,52% du total national, ce qui correspond à 826 144 ha répartis entre Guelmim (482 250 ha), Tan-Tan (117 705 ha), et Tiznit (226 189 ha).

Le PC d'Ouarzazate qui couvre toute la province ainsi qu'une partie des régions de Taroudant et de Tata, a traité 274 978 ha. Cette superficie a concerné les régions de Ouarzazate (241 218 ha), de Tata (25 198 ha) et de Taroudant (560 ha). Ce qui représente 19,82% des superficies traitées à l'échelle nationale.

Dans la zone de Tata, 253 427 ha ont été traités soit 12,74% du total. Au niveau des zones d'Agadir et de Taroudant, envahies à partir du fin octobre, 91 518 ha et 64 889 ha ont été respectivement pulvérisés dans les régions d'Agadir et Taroudant.

Dans les régions sahariennes notamment à Laayoune, les opérations de lutte par voie aérienne ont été bénéfiques, elles ont réduit les essaims de grandes dimensions. Les surfaces traitées se situent dans les régions de Laayoune (169 685 ha), de Smara (25 266 ha) et de Boujdour (24 246 ha). Le maximum des surfaces traitées (48,73%) a eu lieu en novembre 1988. Le reste des traitements est réalisé en décembre (27,72%), en octobre (11%) et en janvier (11%) (fig. 3).

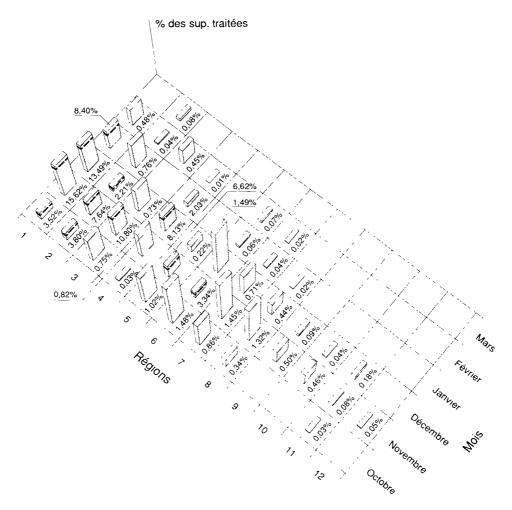


Figure 3. Importance des superficies traitées au Maroc contre le criquet pèlerin durant l'automnehiver 1988-1989. (\*) 1 = Guelmim; 2 = Ouarzazate; 3 = Tata; 4 = Laayoune; 5 = Aït-Melloul; 6 = Errachidia; 7 = Bouarfa; 8 = Oujda; 9 = Khénifra; 10 = Missour; II = Dakhla; 12 = Marrakech.

# Améliorations techniques et précautions sanitaires suscitées au cours de l'invasion acridienne

L'invasion, subie par le Maroc entre 1987 et 1989, a incité les organisateurs à oeuvrer dans la recherche de nouvelles stratégies de lutte et d'améliorer celles déjà adoptées. L'utilisation des produits chimiques dans la lutte a aussi conduit les responsables à prendre des mesures de sécurités préventives à l'égard du manipulateur et du consommateur. L'étude de l'impact des acridicides sur l'environnement et sur les cultures a également été entamée. Les principales améliorations et précautions ont porté sur les aspects ci-dessous.

#### Utilisation de nouveaux acridicides

Lors de l'invasion automnale de 1987, la gamme des produits utilisés était restreinte. L'utilisation presque exclusive du Dichlorvos au début des opérations a été élargie au printemps et en automne 1988, en faisant appel à d'autres acridicides tels que le fenitrothion ULV 96%, le malathion 50% et 96% ULV et dans une moindre mesure les pyrethrinoïdes (deltamethrine et lambda cyhalothrine).

Le DDVP, utilisé en début de la campagne, présente des qualités indéniables notamment sa rapidité d'action, et le peu de résidus qu'il est censé laisser. Sa toxicité élevée (Tableau IB) et son mélange au solvant HAN à effet corrosif sur les joints et tuyauterie des appareils de traitement, nous ont incité à diversifier les matières actives tel le Malathion, entre autres.

Les superficies traitées au DDVP sont évaluées à 1 157 500 ha celles au malathion à 1 398 000 ha.

La plupart des essaims traités au Malathion qui ne jouit pas de l'avantage de "l'effet de choc", reprennent leur vol et sont souvent traités de nouveaux. Les insectes traités mais toujours vivants risquent d'être consommés par la population humaine non avertie s'ils se posent dans des endroits loin des zones de traitements.

L'incursion des criquets en novembre et décembre 1988 dans les zones de cultures a impliqué le choix des matières actives appartenant à la famille des pyrethrinoïdes de synthèse (deltaméthrine et lambda cyahalothrine).

#### Recherche de résidus des acridicides

Lors de la campagne automnale 1988, environ 1 582 665 litres de pesticides furent pulvérisés. Les produits ont été épandus aussi bien dans les zones de culture qu'en dehors de celles-ci.

Des échantillons de l'eau, du sol et de la végétation ont été prélevés au niveau des provinces d'Agadir et de Guelmim. Il a été procédé en outre à l'analyse des résidus des acridicides sur et dans les fruits de clémentine et de tomate dans la région de Souss-Massa.

La plaine du Souss-Massa est en effet connue par ses activités agricoles diversifiées, approvisionnant aussi bien le marché national qu'extérieur en légumes et en fruits d'agrumes. Les pesticides testés sont ceux utilisés en lutte anti-acridienne, il s'agit du

Malathion (750g de M.A/ha), du DDVP (200g de M.A/ha) du Fénitrothion (350g de M.A/ha), de la deltamethrine (12,5g de M.A/ha) et de la lambda cyhalothrine (20g M.A/ha). Les produits utilisés sont en formulation ULV. La clémentine et la tomate ont été choisies pour leur grand intérêt économique et pour la coïncidence des invasions acridiennes avec la maturité des fruits. Les teneurs en résidus détectées sont comparées aux limites maximales de résidus (LMR) fixées par le codex Alimentarius (FAO/OMS) ou par la législation de certains pays européens. La LMR la plus faible est retenue pour la détermination du délai de carence.

#### Délai de carence sur tomate et clémentine

Le Tableau IV récapitule les résultats d'analyses convertis en délais de carence.

Il en ressort que:

- Les fruits de clémentine et de tomate traités avec les pyrethrinoïdes de synthèse (deltamethrine et lambda-cyhalothrine) peuvent être récoltés dans un délai inférieur à un jour après le dernier traitement et ce quel que soit le nombre d'applications effectuées (maximum testé est 3 applications successives).
- Les fruits traités avec le DDVP ou le fénitrothion ne peuvent être récoltés qu'après un délai de carence qui est plus important pour la clémentine que pour la tomate et qui croit avec le nombre d'applications effectuées (Tableau IV).
- Les fruits de clémentine traités avec le malathion doivent être récoltés après un délai de carence qui est supérieur à 15 jours pour 2 ou 3 applications successives. Par contre, les fruits de tomate traités avec la même matière active peuvent être récoltés dans un délai inférieur à un jour.

#### Résidus dans : eau, sol, végétation

Les analyses de résidus dans l'eau, le sol et la végétation des pesticides largement utilisés dans la lutte anti-acridienne DDVP, fénitrothion, malathion prélevés dans les régions de Guelmim et d'Agadir, n'ont révélé aucune trace des 3 produits dans la quasi-totalité des échantillons prélevés 2 à 6 mois après le dernier traitement. Néanmoins quelques échantillons du sol et de végétation ont permis de déceler des taux de résidus de malathion et fénitrothion variant de 0,2 à 4,1 ppm, teneurs largement inférieures aux tolérances dans certains produits alimentaires.

Pour le DDVP, il a été décelé uniquement dans un échantillon de végétation spontanée à Tlat Sidi Bouya à la teneur de 0,2 ppm.

Des résidus du malathion ont été décelés dans 6 échantillons de végétations spontanées. Les teneurs en résidus varient de 0,5 à 4,1 ppm. En ce qui concerne le sol, seul l'échantillon prélevé dans un dépôt de lutte anti-acridienne à un mètre de profondeur a révélé une teneur de 5 ppm.

Pour ce qui est du fénitrothion, seul l'échantillon du sol prélevé à un mètre de profondeur dans un dépôt de lutte anti-acridienne a permis de déceler 3,4 ppm.

On peut donc conclure qu'à l'exception des échantillons du sol prélevés dans des lieux de stockage de pesticides, la quasi-totalité des échantillons analysés n'ont révélé aucune trace de résidus ou seulement quelques ppm, largement inférieures aux tolérances sur les produits alimentaires.

Tableau IV. Délais de carence en jours.

acricide	nombre de traitement	tomate		clémentine	
testé		délai	lmr*	délai	lmr
Dichlorvos	1	4		4	
	2	7	0,1	8,5	0,1
	3	14		>15	
Malathion	1	<1		7,5	
	2	<1	3	>15	0,5
	3	<1		>15	
Fénitrothion	1	2,6		10	
	2	5,5	0,5	>15	0,2
	3	11		>15	
Deltamethrine	1	<1		<1	
	2	<1	0,1	<1	0,05
	3	<1		1	
Lambda-cyhalothrine	1	<1		<1	
	2	<1	0,05	<1	0,05
	3	<1		<1	

<sup>\* :</sup> Limite maximale de résidus en ppm.

#### Utilisation des aéronefs

La configuration des invasions a été à l'origine de la recherche d'engins aériens de plus en plus nombreux et plus performants.

Durant l'invasion acridienne de l'automne 1987, la gamme des aéronefs utilisés au départ, constituée principalement de 6 PA25 et 4 Hélicoptères de traitement, a été renforcée en moins d'un mois par 14 appareils à meilleurs rendements horaires. Les surfaces traitées à l'heure sont passées de 330 pour le PA25 à 400 – 410 pour les turbotrush et PA36, et à 732 ha pour le Cessna.

Pour la campagne acridienne du printemps 1988, le dispositif de lutte aérienne mobilisé est très important : 43 avions et hélicoptères. La mise en oeuvre de cette flotte répond à un besoin né de la confrontation entre les superficies infestées quotidiennement et les capacités de traitements des appareils utilisés. Depuis le déclenchement des opérations au 23 juillet 1988 il a été traité 1 819 165 ha par voie aérienne soit 64,93% du total national. Pour la campagne acridienne de l'automne 1988, l'ampleur des essaims, leur mobilité, leur déplacement à hautes altitudes, leur non respect quelques fois des couloirs, habituellement empruntés, nous ont incité à adopter une stratégie appropriée dans le déploiement et l'utilisation des aéronefs. Les superficies traitées par voie aérienne ont atteint 1 859 419

ha ce qui représente 93,5% du total ; l'avion et l'hélicoptère ont ainsi joué un rôle déterminant dans la destruction des adultes.

L'utilisation des avions gros porteurs, très timide lors des campagnes antérieures, a été mise à profit, notamment sur des très grandes superficies loin des cultures. Les essaims posés, couvrant de très grandes surfaces, sont traités par les gros porteurs (2 DC 7 et 2C 130).

Sur 1 859 419 ha traités par voie aérienne (53 avions et hélicoptères), la part des gros porteurs couvre près d'un tiers soit 537 935 ha.

Le rendement moyen horaire calculé est de 1 824 ha. Il se répartit entre C 130 Americain (3216 ha), C 130 Marocain (dont le système de pulvérisation a été adapté par les techniciens marocains; 1 641 ha) et DC7 américains (1 957 ha).

#### Installation de nouvelles unités de lutte

Pour multiplier les unités de traitements et couvrir le maximum de zones infestées, il a fallu créer 36 sous PC, 42 campements (bivouac) et 112 unités opérationnelles.

Les sous PC intervenaient dans leur zone d'activité aussi bien contre les adultes que contre les larves.

Les bivouac installés à proximité des champs de pontes ou de larves parvenaient à bout des larves dans leur rayon d'action (25 km x 25 km). Les unités opérationnelles déambulantes assuraient à la fois les prospections et les traitements terrestres contre les acridiens.

#### Mesures sanitaires

Au début de l'invasion 1987 du printemps 1988, les utilisateurs des produits chimiques étaient soumis à des examens médicaux réguliers au niveau de chaque région. Des cas d'intoxications ont été notés et des mesures spécifiques ont été prises à leur égard.

A partir du printemps 1988, toutes les personnes en contact avec les acridicides, subissaient des analyses biologiques au moyen des Kitts. Cette technique enzymologique préventive a permis de suivre régulièrement l'évolution des taux de la cholinéstérase chez les personnes en contact avec les acridicides. On a ainsi réussi à éviter des intoxications en écartant toute personne dont le taux d'activité de la cholinéstérase accuse une réduction par rapport au taux normal (seuil toléré).

D'autres nouvelles mesures de protection ont été prises à l'égard du manipulateur des pesticides. Le matériel de protection utilisé au début de l'invasion s'est avéré en général incompatible avec les conditions de températures très élevées (ex: 32°C à 7 h du matin) des régions traitées. La durée de ce matériel était limitée à quelques jours. Aussi avonsnous opté pour un matériel plus confortable et plus sécurisant pour le manipulateur des produits chimiques.

En ce qui concerne les animaux domestiques, des mesures préventives de sécurité ont été formulées et appliquées par les autorités locales; les zones pastorales traitées contre les criquets étaient interdites à l'accès du cheptel pendant une période fixée selon les délais de carences des acridicides utilisés dans ces régions.

#### **Conclusion et perspectives**

L'analyse des caractéristiques de l'invasion acridienne du Maroc entre 1987 et 1989 permet de noter que celle-ci se classe parmi les invasions antérieures les plus brutales et les plus graves. Les essaims envahissant le Maroc se caractérisent par des densités, une structure phasaire et un état de maturité sexuelle variant d'une campagne à l'autre et au sein d'une même campagne selon les populations.

Pour accéder au Maroc, les essaims semblent en général privilégier un certain nombre de couloirs. Ces axes de pénétrations doivent d'ores et déjà être ciblés à chaque invasion du Maroc par le criquet pèlerin.

Au cours de l'invasion 1987-88, le criquet pèlerin a pu développer deux générations successives au Maroc. Ces générations se sont échelonnées entre le mois de novembre 1987 et le mois de juillet 1988.

La durée et l'importance de chaque campagne d'invasion vécue par le Maroc, varient entre les régions envahies. C'est pendant la campagne 1988-89 que l'invasion était la plus sévère, des essaims ont pu atteindre les régions de Khénifra et de Missour. Le choix et la répartition du moyen à mettre en œuvre doivent donc désormais tenir compte de ces composantes.

Pour confronter ces invasions, les organisateurs ont dû élaborer un ensemble de stratégies dynamiques de lutte adaptées à chaque situation acridienne. Il a fallu également faire appel à des moyens humains (plus de 4000 personnes) et matériels très diversifiés. Le Maroc a ainsi traité 4 791 493 ha, la plus grande superficie traitée jusqu'à maintenant au Maroc. Cette superficie se répartie entre l'automne-hiver 1987-88 avec 7,57%, entre le printemps-été 1988 avec 50,90% et entre l'automne-hiver 1988-89 avec 41,53%. Chaque hectare traité revient en moyen à 10 dollars USA.

Pour réduire les risques inhérents à l'emploi des acridicides, des mesures préventives et des contrôles biologiques ont permis d'éviter des intoxications graves humaines et animales. Des analyses chimiques de résidus d'acridicides ont par ailleurs révélé que l'environnement des régions traitées n'est pas aussi pollué qu'on le craignait *a priori* et que les récoltes traitées peuvent être consommées selon les délais de carences établis.

Dans l'avenir, les axes de recherches doivent être orientés en premier lieu sur l'entreposage et les éliminations des stocks périmés et emballages des acridicides.

Pour mieux comprendre l'impact des acridicides sur l'environnement de toutes les régions abondamment traitées contre le criquet pèlerin, des études éco-toxicologiques plus approfondies doivent être entreprises.

La solution idéale des problèmes acridiens réside dans la connaissance approfondie de la bio-écologie de l'espèce et de celle des facteurs régissant le fonctionnement des transformations phasaires. Un système de prévisions des pullulations acridiennes dans les aires grégarigènes pendant la période de récession permettra de conduire des luttes efficaces et à bon escient contre les larves du criquet pèlerin. Des méthodes alternatives de luttes bien réfléchies contre le criquet pèlerin peuvent intégrer la lutte chimique.

2

# La lutte anti-acridienne au plan national, une action permanente : enseignements et propositions

#### R. LAKHDAR

Direction de la protection des végétaux des contrôles techniques et de la répression des fraudes, BP 1308, Rabat, Maroc

Actuellement la Communauté Internationale n'est pas organisée pour permettre un retour assuré à une rémission définitive.

Aussi convient-il de définir un modèle d'approche nationale c'est-à-dire en fait une stratégie et une organisation que pourrait adopter un pays tel que le Maroc, ayant à faire face au «fléau criquet pélerin» notamment au plan de la Recherche Scientifique.

#### L'aspect législatif et réglementaire

La première assise sur laquelle doit reposer une organisation adaptée aux données bioécologiques du criquet pèlerin est une réglementation précise et explicite qui définit la phase de rémission et la phase d'invasion; phase d'invasion où le pays est déclaré «envahi par le criquet pèlerin».

Cette réglementation doit définir l'outil qui gère en quelque sorte la phase de rémission dans le pays et qui est le Centre de lutte anti-acridienne d'Aït-Melloul pour le cas du Maroc; elle doit en préciser les attributions, les missions, l'organisation et les moyens.

Pour la phase d'invasion du pays, la réglementation doit préciser l'autorité qui coordonne et gère la lutte anti-acridienne, le rôle des différents départements étatiques, l'organisation de la lutte, les mesures particulières pouvant être prises pendant cette période d'invasion telles que la réquisition des personnes et des moyens et les indemnités y afférentes, l'accès aux propriétés privées, le devoir de signalisation des essaims, la gestion du personnel affecté à la lutte.

#### La lutte anti-acridienne en phase de rémission

Depuis 1914, les phases de rémission au Maroc, et c'est pratiquement le même cas dans plusieurs autres pays, ont eu une durée variant de 5 à 13 années auxquelles ont succédé inéluctablement des cycles d'invasion plus ou moins courts, d'intensité variable (de quelques milliers d'ha à près de cinq millions d'ha traités au cours de la dernière invasion 1987-1989, fig. 1).

Au cours des périodes d'accalmies les données relatives à la biologie du criquet pèlerin, dans le domaine de la phytopharmacie, de la mise au point du matériel, notamment de pulvérisation, des pesticides, ont évolué rapidement. De nouvelles générations de produits chimiques de synthèse et de matériels de traitement ont vu le jour. Il est un fait qu'à l'échelle internationale, à la veille de l'invasion de 1987, pour beaucoup de nouvelles données, de nouveaux produits, de matériel, leur application ou leur utilisation en lutte antiacridienne étaient, sinon inconnues, du moins très imprécises. Aussi a-t-il fallu mobiliser, personnel, ressources financières, moyens pour se prononcer rapidement en pleine période de lutte sur tel ou tel procédé, tel ou tel matériel avec toutes les déconvenues et les pertes que cela a parfois entraîné.

Il y a donc lieu durant ces périodes d'accalmie d'être à l'écoute permanente de tous les acquis pouvant faire progresser la lutte anti-acridienne. Cette écoute doit se concrétiser par leur recencement systèmatique et l'essai de leur application en lutte anti-acridienne.

Par ailleurs, pour faire face à l'invasion, ll a été nécessaire au Maroc de mobiliser des moyens humains considérables, ingénieurs et techniciens de l'Agriculture, mais aussi tout un ensemble de cadres et de personnel de profils très divers; D'autant plus que le rythme de travail en période de lutte nécessite une relève périodique. Il a fallu donc assurer rapidement, durant les courtes périodes séparant les phases de traitement, la formation complémentaire de plus de 200 techniciens et ingénieurs et de plusieurs centaines de personnes affectées notamment aux tâches de soutien.

De plus et à l'instar des anciennes campagnes de lutte, des produits et un matériel considérables ont été acquis ; il faut en assurer la maintenance et éviter qu'au fil des ans et en perdant de vue les dangers du fléau, l'on ne s'achemine vers la dispersion et peut être la perte, pour la lutte anti-acridienne, de ce matériel.

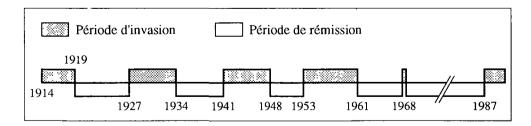


Figure 1. Succession depuis 1914 des cycles d'invasion et de rémission du criquet pèlerin au Maroc.

#### Le Centre National de Lutte Anti-acridienne

Il apparaît donc nécessaire comme cela est le cas au Maroc d'implanter un Centre National de Lutte Anti-acridienne dans chacun des pays fortement menacé par le fléau acridien.

#### Missions du Centre National de Lutte Anti-acridienne

Ce centre remplit plusieurs missions:

#### Le suivi et l'évaluation

Ce centre assurera le suivi et l'évaluation de la situation acridienne à l'échelon national et dans le monde, en liaison avec les organismes de lutte anti-acridienne dans les autres pays et avec les services spécialisés des organismes régionaux (OCLALAV...) et de la FAO. Il évaluera donc de façon permanente les risques d'invasion du pays.

Ce suivi et cette évaluation sont à faire, d'une part, à travers ces liaisons mais aussi à travers l'analyse de données météorologiques et de végétation relatives à la région. En effet, il est certain que l'analyse de données fournies par les images NOAA ont permis de mieux affiner les hypothèses d'évolution de la situation acridienne au cours de l'invasion des deux dernières années.

#### la Recherche et l'Expérimentation

Le Centre National aura aussi à entreprendre durant les périodes de rémission et d'invasion des recherches et expérimentations ayant trait à la lutte anti-acridienne. La réalisation de celles-ci se fera en relation avec les organismes homologues des autres pays et en collaboration avec les Institutions Nationales de Recherche.

Les thèmes de ces recherches et expérimentations doivent porter notamment sur les grands aspects suivants :

- La bio-écologie du criquet pèlerin ;
- Les moyens de lutte :
- Les pesticides :

Les essais et étude systématiques des produits pesticides à usage acridicide éventuel et de leur impact sur l'environnement sont à conduire de façon systèmatique en liaison avec le bureau d'homologation des pesticides. N'est-on pas à titre d'exemple, à la veille de l'utilisation de produits tels que les dérégulateurs de croissance qui pourraient ouvrir de nouvelles perspectives à la lutte.

Il faut aussi rappeler que durant cette dernière invasion le Maroc a dû se prononcer sur 23 spécialités à usage acridicide possible groupant 19 molécules pour n'en retenir que 7. Signalons aussi que l'une des spécialités présumée solutionner le problème de la lutte contre les larves et qui était préconisée pour une lutte à grande échelle s'est avérée totalement inadaptée et inefficace.

#### · Le matériel :

Depuis un demi siècle, les matériels de pulvérisation ont progressé dans le sens de l'efficacité, permettant l'utilisation de molécules formulées pour l'usage en ultra-bas-volume. Depuis 1980 l'électronique à fait son entrée en force dans ce type de matériel, les micro-processeurs, les ordinateurs, les composants synthétiques remplaçant les métaux et les alliages sont de plus en plus utilisés.

Les essais systématiques de matériel terrestre et aérien de traitement en vue d'en établir les performances en lutte anti-acridienne contre les adultes et les larves sont donc plus que jamais nécessaires.

Ces essais doivent porter aussi sur :

- l'étude de la résistance de ce matériel et de ses différentes composantes à la corrosion par les différents produits acridicides ;
- l'étude de l'impact de ce matériel sur l'utilisateur ( fatigue liée au poids, aux vibrations, au bruit...).

Rappelons là encore que le Maroc a été amené à tester en pleine campagne 6 types d'appareils de traitement montés sur véhicule et à en concevoir un nouveau. Un système de pulvérisation a aussi été adapté sur un avion gros porteur.

Pour les atomiseurs à dos, il atomiseurs ont été testés dont deux se sont révélés adaptés à la lutte mais présentent tout de même certains inconvénients de poids ou de robustesse.

De même qu'au cours de la campagne 12 différents aéronefs ( avions et hélicoptères ) ont été utilisés et leurs performances et intérêt respectifs évalués.

Le centre aura aussi à suivre et à tester le matériel de transmission radio susceptible d'être utilisé en lutte anti-acridienne ainsi que les habits de protection dont plus de six sortes ont été utilisées avec plus ou moins de bonheur ces deux dernières années. Les techniques de préservation de la santé des personnes en contact avec les acridicides devront retenir aussi son attention.

#### La formation

Au plan de la formation le centre aura à apporter sa contribution aux établissements d'enseignement agricole, dans le cadre de la formation théorique et pratique des techniciens et ingénieurs en assurant les cours d'acridologie et en accueillant les stagiaires pour les différents aspects liés à la lutte (transmission, prospections...)

#### La maintenance

Il devra assurer en outre la maintenance et le suivi du matériel, particulièrement le matériel roulant et de pulvérisation. Le centre veillera également sur l'entreposage et l'amélioration de la qualité du stockage des pesticides.

#### Autres missions

Il sera chargé des actions de lutte limitées en période de rémission et constituera en période d'invasion «l'expertise nationale» en matière de lutte anti-acridienne. Il sera aussi le noyau autour duquel s'articulera l'ensemble du dispositif de lutte.

L'organisation du centre devra donc tenir compte du triple aspect de ces missions scientifique, technique et matériel et de l'interdépendance de celles-ci avec les actions des autres organismes chargés de la protection des cultures.

#### La lutte anti-acridienne en phase d'invasion

La gravité des invasions acridiennes, l'urgence des actions à entreprendre, la nécessité de l'intervention de différents organes de l'Etat, l'importance des moyens à mettre en oeuvre implique la mise en place d'une assise juridique claire et précise aux actions de lutte anti-acridienne.

La réglementation devra, comme nous l'avons indiqué auparavant, préciser les conditions dans lesquelles le pays est déclaré envahi et l'ensemble des mesures qui en découlent. Parmi celles-ci il y a lieu d'insister sur les aspects suivants :

#### La Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne (CNLA)

La première mesure est la mise en place d'une Commission Nationale et de Commissions Régionales de lutte anti-acridienne.

#### Organisation de la CNLA

Placée sous l'autorité d'un Coordonnateur National, la Commission Nationale regroupe notamment les représentants des départements suivants :

- Ministère de l'Agriculture (Service de la Protection des Végétaux);
- Ministère de l'Intérieur:
- Ministère de la Défense:
- Ministère des Finances;
- Ministère des Affaires Etrangères;
- Ministère des Travaux Publiques et d'Aéronautique Civile;
- Ministère des Transports;
- Ministère de la Santé.

Le Coordonnateur National doit représenter la plus haute autorité gouvernementale afin de faire prendre et exécuter d'urgence par les autorités gouvernementales les décisions relatives aux actions de lutte anti-acridienne.

Il faut insister sur le fait que la gestion des activités de lutte anti-acridienne en phase d'invasion implique un nombre incalculable de décisions prises d'urgence, tant au niveau central qu'au niveau régional. Cette gestion nécessite aussi une évaluation continue de la situation et une adaptation parfois heure par heure du dispositif et des moyens mis en place.

Ces contraintes requièrent une disponibilité totale et permanente du personnel en charge de la lutte, une organisation claire et décentralisée au maximum ainsi qu'une définition précise des attributions à tous les niveaux.

#### Missions du Coordonnateur

#### Le Coordonnateur veille:

- à la direction et à la coordination des actions de lutte notamment par le biais de la Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne placée sous son autorité;
- à la mobilisation et à la gestion des ressources budgétaires nationales pour la campagne;
- à la mobilisation et à la gestion des compétences et des moyens nationaux affectés à la lutte.
- aux relations avec les organisations internationales et les pays donateurs, pour mobiliser des ressources extérieures et assurer l'appui étranger à la campagne de lutte.

#### Missions de la Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne (CNLA)

La CNLA a pour missions essentielles de :

- assurer le suivi permanent de la situation acridienne à l'échelle internationale, sur le plan régional et dans le pays;
- identifier et évaluer les besoins en moyens humains, matériel, produits de traitements et en moyens financiers.
  - s'assurer en permanence de la disponibilité des produits de traitements;
  - apporter son appui technique à l'organisme chargé de l'acquisition du matériel et des produits;
- procéder à la répartition adéquate du personnel et des moyens de lutte dans les différentes zones d'actions et à leur transfert éventuel en cas de besoin.
  - veiller à la bonne utilisation du matériel et des produits en s'assurant :
- du bon entretien du matériel par la mise en place d'ateliers de réparation dans les principales zones d'action;
  - de l'utilisation des produits aux doses recommandées;
- identifier et s'assurer de la mise à la disposition de la lutte anti-acridienne des moyens complémentaires notamment :
  - · les pistes d'attérissage;
  - les dépôts pour stockage de produits, carburant et de matériel;
  - les moyens de liaisons (radio, téléphone, télex );
- procéder à toutes les démarches administratives et autres en vue d'assurer toutes les facilités pour :
- l'introduction rapide dans le pays des moyens et produits de traitement acquis à l'étranger notamment au titre de l'aide internationale;
  - L'accueil et le séjour du personnel étranger de lutte;
  - assurer le suivi permanent de la situation climatique prévalant dans le pays, afin :
  - de contribuer à localiser les zones de pullulation éventuelle;
- d'évaluer les possibilités pour les avions, compte tenu des conditions climatiques, de procéder aux traitements;
  - veiller à la préservation de la santé du personnel chargé de la lutte en:
  - mettant à sa disposition les habits de protection adéquats;
  - mettant en place un système de suivi médical du personnel;
- mettant à la disposition du personnel médical les antidotes adéquats ainsi que le matériel et les produits permettant de détecter des éventuelles intoxications;
- veiller à la préservation de l'environnement par le choix de produits et de techniques d'application permettant d'éviter la pollution du milieu.

#### La Commission Régionale de Lutte Anti-acridienne (CRLA) : Représentante Régionale de la CRLA

Pour permettre une action efficace de la CNLA, celle-ci doit être représentée à l'échelon de chacune des principales zones d'action par une commission régionale placée sous la responsabilité de la plus haute autorité de la région concernée.

- La CRLA regroupe les représentants locaux des principaux organismes composant la CNLA, en particulier :
  - le Ministère de l'Agriculture (Protection des Végétaux );

- le Ministère de l'Intérieur;
- les Forces Armées:
- le Ministère des Travaux Publiques;
- le Ministère de la Santé:
- la Météorologie Nationale.

#### Les Missions de la CRLA

Cette Commission aura pour tâches de :

- organiser au niveau de sa zone d'action les prospections et la lutte;
- gérer de façon autonome les moyens et le personnel mis à sa disposition;
- communiquer à la CNLA de façon permanente toutes les informations relatives à la situation acridienne et aux dispositions prises pour les actions de prospection et de lutte;
- identifier, évaluer et communiquer à la CNLA les besoins en moyens pour faire face à la situation acridienne:
- prendre toutes les dispositions pratiques pour assurer le bon déroulement des opérations de lutte :
  - mise en état des pistes;
  - entretien et réparation du matériel (véhicules, appareils de traitements aéronefs...);
  - transport, des produits et ingrédients aux lieux de traitement.

#### Fonctionnement de la Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne

La CNLA chargé du suivi direct de l'opération de lutte anti-acridienne doit disposer en son sein des cellules spécialisées suivantes:

- Cellule aéronautique : elle est chargée de résoudre tous les problèmes qui sont posés aux différents aéronefs: suivi de la consommation et de l'approvisionnement en carburant et lubrifiants, réparation des avions et du matériel de pulvérisation, application des décisions de transfert d'une région à une autre, décompte des heures de vol effectuées et suivi des heures encore disponibles, décompte des superficies traitées par chaque aéronef, suivi de l'état des pistes. Elle doit donner aussi la position exacte et quotidienne des différents aéronefs.
- Cellule produits et matériels de traitements: cette cellule doit veiller à éviter toute rupture de stocks en produit de traitement à l'échelle du pays et à l'échelon des zones de traitement. Elle élabore quotidiennement un état détaillant dans chaque lieu de stockage, des quantités disponibles pour chacun des produits utilisés. Elle suscite à l'avance des achats ou les demandes d'aide en produits. Elle assure le suivi, pour le compte de la commission des essais de nouveaux acridicides en relation avec le service d'homologation et le groupe de recherche et d'expérimentation. Elle procède au choix des produits à utiliser, élabore les commandes de produits et les spécifications techniques exigées et assure le contact avec les différents fournisseurs pour les produits de traitements. Elle s'assure enfin de l'approvisionnenent en produits des différentes zones de traitement et de la dotation des équipes de traitement en habits et matériels de protection.
- Cellule « Programme de traitement» : cette cellule est chargée de donner de façon permanente aux responsables de la commission une situation précise de l'infestation, des programmes de traitements arrêtés quotidiennement par chaque zone, des traitements effectivement réalisés dans chacune des localités. Elle porte quotidiennement sur carte

(1/200 000) les éléments précités: localisation des essaims, superficie de traitement programmée, superficies traitées, ainsi que tous les passages d'essaim et les localisations de larves. Elle élabore et soumet quotidiennement au coordonnateur et aux différentes cellules un état des difficultés et des doléances des différentes zones de traitements.

- Cellule matériel : elle veille à l'application des décisions relatives à la répartition des véhicules et du matériel de traitement, ainsi qu'à son entretien et à l'approvisionnement en pièces détachées.
- Cellule coopération : elle est chargée pour le compte de la commission des contacts avec les organisations internationales et les pays donateurs et représentations diplomatiques dans les différents pays. Elle élabore des dossiers nécessaires comprenant les éléments relatifs à l'infestation, aux moyens disponibles aux moyens à acquérir en vue de susciter l'aide internationale. Elle prépare les requêtes à soumettre aux différents donateurs ainsi que les réunions, hebdomadaires de suivi et de coordination de l'aide internationale avec les représentants des pays donateurs et des organisations internationales concernées.
- Cellule finançière : elle établit avec les services du Ministère des Finances les procédures particulières d'urgence à mettre en place pour l'opération de lutte anti-acridienne.

Elle élabore pour le compte de l'organisme en charge financièrement de l'opération de lutte:

- le budget prévisionnel relatif aux dépenses à effectuer;
- les marchés et les contrats d'achat ou de location de produits, d'aéronefs et de matériel....

Elle assure enfin le suivi de l'exécution du budget affecté à l'opération.

- Cellule informatique et archives : elle est chargée de recueillir et d'enregistrer toutes les informations relatives au déroulement de l'opération de lutte anti-acridienne en particulier celles relatives :
  - aux superficies infestées et aux superficies traitées.
  - aux moyens disponibles et à leur répartition:
  - personnel
  - produits de traitements;
  - · carburants et lubrifiants;
  - · aéronefs:
  - matériel de traitement;
  - matériel de protection;
  - · véhicules.

Ces éléments actualisés doivent pouvoir être fournis à tout moment aux membres de la commission.

- Le groupe de recherches et expérimentations

A côté de ces différentes cellules, il est fondamental de mettre en place un groupe de recherche et expérimentation réunissant les représentants des différentes institutions techniques et scientifiques pouvant apporter une contribution efficace à la conduite d'un programme de recherche adapté, devant être mené en phase d'invasion, et complémentaire à celui que le centre national conduit en phase de rémission.

Ce groupe aura à recueillir et à se prononcer sur les projets de recherche et d'expérimentation, à contribuer à leur réalisation, à procéder à l'examen des résultats obtenus et à favoriser leur application dans la lutte.

La mise en place de ce groupe est indispensable, en effet, si au cours de la dernière campagne au Maroc différents groupes de techniciens et de chercheurs ont procédé à des observations, à des recherches et à des expérimentations sur la biologie de l'insecte, les pesticides, le matériel, l'environnement, la santé humaine, il aurait fallu une vision globale, structurée du programme et une hiérarchisation de ses composantes.

#### Conclusion

Il nous apparaît à l'issue, notamment, de l'expérience de l'invasion que vient de connaître le Maroc qu'il était indispensable d'insister sur le fait que, au delà des moyens matériels nécessaires, l'efficacité de l'action anti-acridienne au plan national, est au prix d'une législation et d'une réglementation adaptée, d'une organisation claire, décentralisée et d'une disponibilité sans partage des hommes qui en ont la charge.

Il reste qu'il faut qu'au niveau international, des actions similaires dans les différents pays soumis au fléau acridien soient entreprises et que les structures de coordination régionales et internationales jouent leur rôle.

3

# Organisation de la lutte anti-acridienne au Maroc

Lieutenant-Colonel M. LAYID

Gendarmerie Royale, PCC de la lutte anti-acridienne, Royaume du Maroc

Pour bien comprendre le problème posé par la lutte menée contre le fléau acridien au Maroc de 1987 à 1989, il est nécessaire de l'analyser à travers les solutions qui lui ont été apportées.

Pour un pays à vocation agricole comme le Maroc, la réussite des opérations anti-acridiennes est une nécessité vitale compte tenu de l'importance des enjeux. Il fallait donc gagner la bataille contre le criquet pèlerin et pour ce faire, il fallait mobiliser des ressources humaines et matérielles de plusieurs départements ministériels et en coordonner la mise en oeuvre et la logistique sur de vastes étendues du territoire national. En effet, à partir des premiers jours de novembre 1987, les invasions acridiennes ont couvert pratiquement tout le Maroc extérieur, c'est-à-dire toute la partie du pays limitée par les chaînes des Atlas, de l'oriental jusqu'au pied de l'Anti-Atlas occidental (Sidi Ifni).

C'est pourquoi, il a été décidé d'opposer à cette menace exceptionnelle une organisation exceptionnelle qui tienne compte à la fois de l'aspect multidisciplinaire de la lutte anti-acridienne et de son caractère global dans la mesure où les activités induites en aval et en amont du processus des traitements sur le terrain soulèvent des problèmes relatifs à la santé, à l'environnement et à la recherche.

Cette organisation regroupant plusieurs intervenants de différents ministères est coiffée par un Coordonnateur National de la lutte anti-acridienne en l'occurrence le Général Housni Benslimane qui a insisté, depuis le début des opérations, sur le respect de certains principes :

- Le coût efficacité: même si l'enjeu est de taille, il faut avoir constamment à l'esprit que les dépenses consenties par l'Etat sont autant de sacrifices de l'ensemble de la Nation. Il est donc nécessaire d'opérer les traitements avec de bons résultats et au moindre coût.

- La déconcentration du processus décisionnel : à tous les échelons de la structure de coordination, il existe une part d'initiatives et d'attributions qui permettaient aux responsables déconcentrés de résoudre des problèmes sur place sans s'en référer préalablement à l'autorité supérieure. Cette liberté d'action, malgré tout surveillée d'en haut, n'aurait aucun sens si des moyens humains, matériels et financiers n'étaient pas mis à la disposition des différents organismes régionaux de coordination.
- La circulation de l'information et la transparence : dans une activité nécessitant des délais d'intervention très courts comme c'est le cas de la lutte anti-acridienne, l'information n'est valable que si elle peut être exploitée à temps, c'est-à-dire donner naissance à des interventions efficaces sur le terrain. D'autre part, une activité apparemment limitée à un domaine déterminé, a toujours débordé le cadre normal où elle est censée se confiner. C'est pourquoi le Coordonnateur National a toujours insisté sur les effets néfastes de la rétention de l'information pour éviter des structures où l'opacité pourrait voiler bien des défauts et des faiblesses.
- Le respect de l'environnement : les produits utilisés dans la lutte contre le criquet pèlerin ont des effets néfastes sur l'environnement et sur la santé de l'homme. Pour réduire au minimum les risques potentiels, un certain nombre de mesures ont été prises. Elles seront développées plus loin.

#### Les structures de coordination et de lutte

Depuis le début de la campagne, l'aspect multidisciplinaire de la lutte s'est imposé. En effet, la lutte anti-acridienne a de multiples facettes : agricoles, entomologiques, sanitaires, phytosanitaires, écologiques, logistiques, sans parler des données relatives aux transmissions, aux pesticides et même aux médias car il fallait sensibiliser l'opinion nationale et internationale.

On peut dire que la réussite de la coordination de la lutte au Maroc est due principalement à la cohésion des composantes ministérielles en action dans les différents échelons des structures de lutte. Elle est due aussi à la complémentarité des fonctions et au sentiment d'appartenance à un organe nouveau dont la mission transcende les clivages et les particularismes des départements ministériels représentés.

Cette organisation souple et déconcentrée ignore les lourdeurs habituelles des administrations classiques. L'aspect procédural habituel est rejeté en cas d'urgence mais la légalité est toujours respectée par des régularisations *a posteriori*.

Cette organisation a permis de traiter 4 758 912 hectares et de casser de façon décisive le cycle biologique du criquet pèlerin. Ceci a été rendu possible grâce à la mise en oeuvre de moyens humains et matériels importants qui ont atteint parfois :

- moyens humains: 3 935 hommes dont 443 ingénieurs

et techniciens.

- moyens matériels

• aériens : 56 dont 42 avions et 14

hélicoptères,

• terrestres : 520 véhicules et 2 600 atomiseurs.

On distingue 4 niveaux de coordination et de lutte :

#### Un Poste de Coordination Central (PCC voir organigramme dans les annexes)

Implanté à Rabat et dirigé par le Coordonnateur National, il est l'entité interministérielle chargée de mener la lutte contre le criquet pèlerin en coordonnant les actions des PC Régionaux dont il est chargé de fournir les moyens.

#### 12 Postes de Coordination Régionaux ou PCR

Implantés dans les chefs-lieux des provinces (voir annexes), ils ont pour mission d'intervenir dans les zones qui leur sont assignées suivant des limites correspondant généralement au découpage administratif. Ils disposent de moyens lourds d'intervention, aériens et terrestres, qu'ils actionnent de leur propre initiative. Les PCR établissent leurs programmes de prospection et de traitement; ils en rendent compte au PCC qui n'intervient que pour répondre aux demandes de renforcement éventuelles ou encore pour remédier à des situations dépassant la compétence des PCR. Des cellules représentant différents départements ministériels sont placées sous l'autorité de l'Ingénieur du Ministère de l'Agriculture et de la réforme Agraire (MARA) qui, épaulé par l'officier de Gendarmerie Royale du ressort, dirige le PCR suivant les instructions du Gouverneur Coordonnateur régional et chef des services extérieurs des départements ministériels.

Un PCR peut avoir sous son contrôle deux ou trois sous-PC. A ce niveau de coordination et de lutte, les moyens humains et matériels sont moins importants mais ils permettent de faire face à des invasions acridiennes sur l'étendue d'un cercle (une province comprend deux ou plusieurs cercles).

#### 29 sous-PC

Leurs moyens d'action sont terrestres et la composante aérienne figure rarement dans la panoplie de moyens mis à leur disposition.

Ils renseignent les PCR, effectuent l'essentiel des prospections et procèdent aux traitements par voie terrestre. Les sous-PC disposent de plusieurs Unités Opérationnelles.

#### 121 Unités Opérationnelles (UO)

Elles ont une compétence territoriale bien définie et sont chargées principalement des prospections et accessoirement des traitements de petites superficies.

Elles ont été créées pour effectuer un meilleur quadrillage des zones infestées en vue d'y procéder aux prospections des champs larvaires et à leur traitement. Ayant donné d'excellents résultats, elles ont été maintenues pour compléter le dispositif de renseignement des Forces Armées Royales, principalement celui des unités frontalières chargées de l'alerte précoce.

Ce sont ces UO et les 2 autres échelons de lutte et de Coordination (PCR et Sous-PC) qui, implantés tout le long des zones menacées, ont constitué le dispositif de lutte contre le criquet pèlerin. La profondeur de ce dispositif a permis d'éviter les débordements mais,

vers l'automne 1988, des essaims immatures et voraces ont traversé d'un seul coup l'Atlas (+ 2 000 m) et ont pénétré dans la vallée du Souss. Ce fait exceptionnel n'enlève rien à l'efficacité du dispositif déployé mais on a appris depuis que des essaims peuvent voler très haut et faire de longues distances en une seule journée.

La lutte anti-acridienne a été à l'origine d'autres activités en amont et en aval des opérations de lutte proprement dites.

#### Les aspects opérationnels et logistiques

Les aspects opérationnels sont conditionnés par un certain nombre de facteurs dont les plus déterminants concernent la cible, le milieu et les moyens.

Le criquet pèlerin est un insecte très résistant, à sang froid, vorace, prolifique, grégaire (\*) et mobile. Compte tenu de toutes ces caractéristiques, il est indispensable de mettre en oeuvre des moyens importants et spécifiques dans des délais très courts. Tout retard dans l'intervention aurait pour conséquence tout d'abord, la destruction de cultures, plantations ou pâturages, ensuite le danger de saturation du dispositif de défense et enfin, des risques de ponte. La mobilité des essaims surtout lorsque les températures sont clémentes aggrave encore les problèmes de mise en œuvre des moyens en réduisant les délais d'intervention à partir du lever du jour.

A ceci, il y a lieu d'ajouter que le traitement des cibles mouvantes que sont les essaims est encore rendu plus difficile par la nature du milieu. Il s'agit tout d'abord de zones présahariennes où comme on le verra plus loin l'infrastructure logistique était à aménager ou à créer. En second lieu, les différentes configurations du terrain conditionnent le genre de matériels à mettre en oeuvre. C'est la conjugaison cible-milieu qui impose donc au décideur le choix des moyens à adapter à la situation du moment. En montagne par exemple et contre un essaim de taille moyenne, l'hélicoptère est tout indiqué. En plaine, contre une petite cible, ce seront les moyens terrestres, etc.

Cette adéquation cible-moyens doit être scrupuleusement respectée en application du principe coût-efficacité d'une part et compte tenu des contraintes techniques d'autre part. Aussi un avion n'est pas efficace dans un terrain accidenté par suite de la présence d'angles morts et des risques d'accident.

C'est après analyse de tous ces facteurs, que le Général, Coordonnateur National, a préconisé une stratégie de lutte contre le criquet pèlerin. Cette stratégie n'était pas figée, elle était évolutive. Elle tenait compte des données géographiques du pays, de l'ampleur des invasions acridiennes, des moyens opérationnels à mettre en oeuvre et enfin des priorités elles-mêmes dictées par les enjeux. Lors de la première campagne 87-88, des essaims en partie matures mais d'importance moyenne envahissaient tout le sud des Atlas. Ces harcèlements incessants du dispositif appuyé sur les contreforts des montagnes de l'Anti et du Haut Atlas ont amené le Coordonnateur National à déployer des moyens de traitement au Sud du pays pour intercepter les essaims au plus loin et pour donner aux décideurs régionaux le temps et l'espace nécessaires pour défendre leurs secteurs respectifs. Ces interventions en profondeur avec de puissants moyens aériens et terrestres, tout en brisant les

<sup>(\*)</sup> C'est à l'état grégaire que le criquet pèlerin devient une cible justiciable d'un déploiement de moyens de traitement.

grands essaims, permettaient aussi d'éviter les sur-traitements de certaines zones rejetant ainsi les inconvénients écologiques des traitements vers des zones désertiques. Au printemps 1988, les invasions étaient tellement vastes et généralisées qu'il fallait recourir en plus d'un dispositif profond à l'utilisation de moyens aériens lourds. C'est dans ce sens que le Maroc a équipé deux gros porteurs C.130 malgré quelques réserves émanant d'organismes étrangers qui, constatant l'efficacité de cette nouvelle gamme de moyens, ont fini par suivre le mouvement.

Cette stratégie de lutte qui apparaîtra plus clairement avec l'organisation régionale de la lutte a privilégié l'élément humain malgré toute la panoplie des moyens matériels déployés tout en s'appuyant sur la rationalisation des activités de lutte sur le terrain.

C'est ainsi qu'à titre d'exemple, les prospections de champs larvaires ont fait l'objet d'une étude informatique pour éviter les tâtonnements et les pertes de temps et de finances. Tous les essaims étaient répertoriés et leurs coordonnées Lambert saisies par ordinateur. Des échantillons de criquets furent disséqués et analysés pour déterminer la présence de femelles pleines. Si tel était le cas, l'essaim était déclaré «pondant». Le programme élaboré par le service informatique de la Gendarmerie Royale permettra ensuite de communiquer aux organismes chargés de la lutte sur le terrain les lieux exacts où des prospections devraient normalement mettre en évidence la présence de larves de tel ou tel stade. Cette information précieuse a permis d'établir des calendriers de sortie de prospection et donc de déterminer les priorités compte tenu des stades larvaires et d'autres contraintes telles que l'éloignement du site infesté, les dimensions de la zone à prospecter etc.

Dans la mise en oeuvre des moyens humains et matériels, les transmissions, arme de la coordination, ont joué un rôle de premier plan.

Mais de telles opérations, même bien conçues, ne pouvaient même pas être envisageables sans un soutien logistique permanent et adéquat.

# Les aspects logistiques de la lutte anti-acridienne

Pour que la manoeuvre opérationnelle ait des chances de réussir, il fallait lui adapter la manoeuvre logistique. C'est ainsi que prenant en compte le délai d'intervention relativement très court de même que les impératifs de la manoeuvre opérationnelle, exceptionnellement nocturne, le Coordonnateur National a décidé de doter tous les échelons de coordination et de lutte de moyens autonomes qu'ils peuvent mettre en oeuvre suivant l'appréciation qu'ils font de la situation sur le terrain. C'est aussi dans ce sens que des dépôts de carburant et de produits de traitement ont été implantés dans tous les chefs-lieux des PCR et des sous-PC. L'organe central de coordination à l'échelon national veille aux ravitaillements et à l'approvisionnement des dépôts pour éviter la rupture des stocks.

La dissémination des points logistiques à travers le territoire national a été déterminée suite à des études menées dans les zones les plus menacées ou d'accès difficile. La qualité des produits de traitement de même que les quantités affectées à chaque zone étaient fixées en prenant en compte l'importance des superficies menacées et les données agricoles de la région (utilisation du décis dans la vallée du Souss, produit biodégradable dont la rémanence est faible).

Les difficultés d'approvisionnement du Maroc à un moment où la demande internationale était forte, a amené les décideurs à prospecter les marchés européens et américains et à gérer les disponibilités nationales pour éviter les ruptures de stocks. C'est ainsi que, ignorant pour une fois le principe du coût-efficacité, il a été procédé de nuit au transport par voie aérienne de pesticides européens vers l'aéroport d'Agadir. La même nuit, deux C.130 ont chargé le produit et l'ont déposé à Errachidia sur une piste immédiatement aménagée pour l'atterrissage nocturne. Le lendemain matin, l'essaim signalé la veille à Bouarfa était traité par le produit, qui moins de 24 heures, était alors stocké quelque part aux Pays-Bas. Cet exemple montre à quel genre de problèmes logistiques, l'autorité Nationale chargée de la coordination devait faire face en ce printemps «chaud» de 1988.

Tirant les enseignements de cette dure campagne, il a été décidé de procéder à des achats pour faire face à la prochaine campagne automnale. Les produits étaient alors importés par voie maritime, ce qui a permis de faire des économies substantielles tout en maintenant les stocks régionaux et national à des niveaux appréciables.

Parallèlement à l'implantation des dépôts logistiques, il a été procédé à l'aménagement de pistes d'atterrissage ou encore à leur construction. La répartition de ces pistes, leurs caractéristiques (dimensions, orientation, etc.) ont été saisies par ordinateur pour permettre une meilleure utilisation de la composante aérienne dont l'intervention est conditionnée par les infrastructures d'accueil.

# Les activités induites

Elles concernent trois grands domaines:

- La santé et l'écologie,
- La recherche et la formation,
- La Coopération.

La santé et l'écologie ont été, dès le départ, au centre des préoccupations du Coordonnateur National. Ainsi, des directives concernant le danger que représentent les pesticides ont été données aux différents intervenants dans le cadre de la lutte anti-acridienne. Les populations ont été sensibilisées et la Gendarmerie Royale veillait à la destruction des cadavres de criquets traités à proximité des agglomérations ; les agriculteurs ont été suffisamment avisés à l'avance pour prendre leurs dispositions afin de protéger leurs ruchers.

D'autre part, il a été décidé depuis que les moyens aériens étaient suffisamment renforcés, de procéder aux opérations de traitements loin des zones habitées, et de préférence, au plus loin dans les régions désertiques du Royaume.

Ceci a permis d'éviter, comme il a été déjà dit plus haut, les sur-traitements de certains terrains et d'épargner à la flore et à la faune les inconvénients des effets toxiques des pesticides. Des prélèvements de sol et d'eau ont été effectués et envoyés à des fins d'analyse soit dans des laboratoires nationaux soit à l'étranger, principalement en Allemagne.

En outre, des mesures préventives ont été prises quant à la santé des hommes, principalement ceux en contact direct avec les pesticides. Des contrôles biologiques sont effectués régulièrement pour l'ensemble du personnel en activité dans les zones opérationnelles. Dans le cas des pilotes, le contrôle est hebdomadaire. Des trousses de contrôle offertes par l'USAID permettent de déterminer à l'avance et sans signes symptomatiques quelles sont les personnes à écarter des opérations de lutte.

Sur le plan de la recherche, il a été procédé, pour une meilleure compréhension du phénomène acridien, à des études sur le déplacement des essaims, les axes de prédilection de leur progression ainsi que les zones les plus exposées à ces invasions. Pour la zone de

Guelmim qui était la plus infestée, la recherche a porté sur les corrélations pouvant exister entre l'intensité des invasions acridiennes et les phénomènes météorologiques. D'autres données sont consignées dans le journal de marche édité actuellement à 27 volumes de plus de 200 pages chacun et relatant toutes les activités ainsi que toutes les observations et constatations faites au fil des jours depuis le début des opérations jusqu'à la mise en veilleuse du dispositif de lutte. S'agissant des matériels, les techniciens marocains ont construit des atomiseurs-canon et équipé de façon artisanale des avions gros porteurs dont l'efficacité n'est plus à démontrer : 6 000 ha par sortie.

Enfin, s'agissant de la recherche universitaire, des directives ont été données pour inviter les étudiants à consacrer leurs mémoires et thèses à des sujets traitant de l'acridologie.

Sachant «que les armes ne valent que par ceux qui les servent», un accent particulier a été mis sur la formation des hommes à tous les niveaux, ceci en plus de l'expérience et du capital de savoir faire qu'ils ont acquis sur le terrain.

Les capacités techniques des cadres engagés dans la lutte anti-acridienne ont permis au Maroc d'apporter à plusieurs pays d'Afrique et du Moyen Orient son expérience dans divers domaines intéressant la lutte contre le fléau acridien. C'est ainsi que durant l'année 1989, la FAO et l'USAID avaient fait appel aux techniciens marocains qui ont participé à ce titre à plus de 20 missions au Niger, en Mauritanie, au Tchad, au Burkina Faso, au Mali, au Soudan, etc.

Pour sa part, le Maroc a bénéficié de l'aide matérielle de plusieurs pays frères et amis.

# Conclusion

On peut dire qu'à la lumière de l'expérience acquise lors des campagnes précédentes de lutte contre le criquet pèlerin, certains enseignements peuvent d'ores et déjà être tirés :

- A menace exceptionnelle, moyens exceptionnels,
- Un problème national à caractère multidisciplinaire requiert pour sa résolution un organisme interministériel doté de larges pouvoirs,
  - Dans toute action, le facteur humain est déterminant,
  - La circulation de l'information est primordiale.
  - La lutte anti-acridienne est une affaire nationale mais aussi internationale.

- Informatique - Cartographie Secrétariat Journal de - Liaisons marche - Moyens Représentant du Ministère Moyens de prévention et de la Santé de traitement phénomène sur le plan humain sation de la publique population Médecine Sensibili-Etude du transmissions Appui sur le plan humain Appui logis-tique Forces armées Signalisation prospection Moyens de aériens de royales éloignée Moyens Défense nationa-Représentant de la <u>e</u> aux opérations de traitement Infrastructure de comman-PC extérieurs Encadrement Renforcement Coordination ensemble population Moyens de liaison Participation Moyens aériens de traitement Appui logis-tique Gendarmerie opérations Coordonnateur national de la lutte anti-acridienne royale dement Général Housni Benslimane pour le suivi de la météo météo. natio-Constitution organismes dans toutes nale et les étrangers Météo d'un pool es zones Relation avec la des transports du Ministère Représentant atterrissage des aéronefs) des pistes d'atterrissage Recensement Mesures de sécurité administraifs (survol, Aéro-nau-Problèmes avec aérotique Relation ports l'agriculture et de la réforme agraire Représentant du suivi des opéra-tions sur le plan Traitement zones infestées Encadrement Prospections et signalisation Ministère de Organisation et nique Aspect scienti-fique des proeffets des traiteflore et la faune personnel techments sur la Protection Analyse des végétaux des essaims technique blèmes Relations avec Coiffe opérations de lutte organismes étrangers Protection Appui aux civile autorités Représentant du l'intérieur et de Ministère de l'information Vulgarisation films et documents Information Réalisation presse Sensibilisation Signalisation des invasions Coordination Encadrement tions de trai-Autorités administrahumains et population des opéramatériels Moyens tement

Annexe 1. Organigramme du PC central de la lutte anti-acridienne

Financiers Réalisations Prévisions Approvision-Matériels Moyens Carburants Nationaux Terrestres Etrangers Produits Aériens nement D'encadrement De direction - Technicien - De soutien Personnel Coordination PréparationExécutionSuivi Coordination Déploiement Organisation coordination des moyens Evaluation Opérations Représentation Centralisations - Cartographie Informatique Météorologie information - Dessins - Efficacité - Effet sur CriquetsMoyens de Insecticides Recomman-. Homme . Flore Etudes . Faune dations Etudes et liaisons · Relations inter- Transmissions Liaisons Secrétariat nationales. Presse

Annexe 2. Organigramme fonctionnel du PC Central Rabat

Ministère des AE et de la coopération Coopérations Ministère de la santé Médecins Administration de la Défense Nationale Coordination · Grie. Rle. • FAR des transports Ministère Aéronautique Météorologie Service vétérinaire Ministère de l'agriculture Annexe 3. Participation lutte anti-acridienne Autorités adminis ratives
 végétaux Information Presse Ministère de l'intérieur

Météorologie Assistance aux aéro-nefs Participation aux opérations de traite-Appui logistique Collecte des infortraitements aériens Moyens de liaison Responsabilité des Coordination des Gendarmerie royale Auto-Char. Transmission: Aéronautique: Réparation Entretien opérations mations. ment Liaison officier gendarmerie royale Sensibilisation cuation en cas d'intoxication de la popula-Soins et éva-Santé tion Réalisation des Sensibilisation Documentation et vulgarisation films et documents Gouverneur coordonnateur de la lutte anti-acridienne des traitements sur Analyse des effets la flore et la faune Prospections et signalisations des Encadrement personnel technique tifique des pro-blèmes rations sur plan Organisation et Opérations suivi des opé-Aspect scien-Encadrement **Traitements** technique population essaims Chef de PC ingénieur du Ministère de l'agriculture Moyens - Matériels Humains - Produits Gestion budget Administration Comptabilité Annexe 4. Organigramme d'un PCR Suivi des opé-Cartographie Secrétariat Journal de marche rations

M. Layid

Annexe 5. Situation des superficies totales traitées en hectares depuis la première invasion (27 octobre 1987 - 5 mars 1989)

PC	Voie aérienne	Voie terrestre	Superficie totale
Oujda	24 120	46 033	70 153
Bouarfa	266 868	144 002	410 870
Errachidia	247 973	180 122	428 095
Ouarzazate	594 999	187 601	782 600
Tata	542 095	137 361	679 456
Guelmim	1 575 039	140 169	1 715 208
Laayoune	249 350	122 328	371 678
Dakhla	8 300	114 465	122 765
Ait Melloul	149 840	6 567	156 407
Missour	8 800	1 140	9 940
Khenifra	11 200	440	11 640
Marrakech	-	100	100
Totaux	3 678 584	1 080 328	4 758 912

4

# Caractéristiques morphométriques des populations adultes de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) Orthoptères, Acrididae) durant l'invasion du Maroc en 1987 et en 1988.

A. BOUGHDAD

DPVCTRF, BP 1308, Rabat, Maroc

# Introduction

Il y a plus d'un siècle, Keppen (1870) (\*) pensa déjà que *Locusta*, se présentant sous 2 formes morphologiquement distinctes et réversibles, ne serait que des «variétés» de la même espèce. Malgré le point de vue exprimé par Keppen, le criquet migrateur a été longtemps considéré comme étant séparé en 2 espèces *Locusta danica* et *L. migratoria*.

Il a fallu attendre le célèbre travail d'Uvarov pour se rendre compte qu'il s'agit à juste titre d'une même espèce sous 2 formes : solitaire (= L. danica) et grégaire (= L. migratoria). Selon la densité des populations et les conditions climatiques, le criquet migrateur présente en effet des caractéristiques propres à chaque forme. Ces variations intraspécifiques portent sur des caractères ethologiques, chromatiques, physiologiques, biologiques, et écologiques. Elles constituent le polymorphisme phasaire. [1, 2, 3, 4, 5] Ces caractères phasaires évoluent avec des vitesses différentes.

Depuis le travail d'Uvarov [6] et à cause de leur caractère dévastateur des cultures et des parcours, de nombreuses espèces d'acridiens (environ 1%), possédant la capacité de se transformer en formes particulières, sont connues dans les cinq Continents. Leur répartition géographique varie cependant selon l'espèce grégariapte (= Locuste) considérée [7].

(\*): In [3].

Le polymorphisme phasaire acridien se distingue de celui connu chez les insectes sociaux et les pucerons par l'existence d'individus intermédiaires, appelés transiens, entre les formes extrêmes «phase solitaire» et «phase grégaire» [8].

Dans la nature, la sensibilité phasaire varie selon l'espèce, le sexe, les antécédents de la vie, les conditions de groupement ou d'isolement. Ainsi, chez L. migratoria, les manifestations de grégarisation sont observées à partir de 2 000 ailés à l'hectare. Chez S. gregaria, le même phénomène est déclenché à partir de 500 individus à l'hectare (Op. cit.). Il me semble inutile de revenir sur les processus de l'expression du polymorphisme phasaire vue l'abondante littérature dans ce domaine. Le lecteur intéressé peut consulter les ouvrages cités plus haut.

Parmi les critères de distinction entre les phases, la morphométrie est souvent utilisée. Elle présente l'avantage d'utiliser des insectes morts bien conservés.

Dans cet exposé, seront présentés certains résultats morphométriques des populations d'adultes du criquet pèlerin prélevées aux débuts des invasions en 1987 et en 1988.

# Matériel et techniques

Au niveau de chaque localité indiquée sur la carte (fig. 1), des adultes sont prélevés tôt le matin avant le traitement ou l'envol de l'essaim. De chaque essaim (= ici population), 100 mâles et 100 femelles sont prélevés, tués et leurs élytres (E) et fémurs postérieurs (F) sont retirés. La longueur de ces organes est mesurée pour chaque adulte. Les mensurations sont exprimées en cm au 1/100° près. Le rapport E/F est calculé pour chaque adulte.

Les valeurs des rapports E/F obtenus à partir des populations étudiées sont comparées à celles des ratios établis par Dirsch [9]. Trois classes morphométriques d'individus en sont dégagées. Ce sont les adultes appartenant soit à la phase solitaire, soit à la phase transienne, soit à la phase grégaire.

# Structure phasaire des populations

L'analyse du polymorphisme morphométrique, caractérisé par les profils E/F permet de considérer la composition phasaire pour chaque campagne d'invasion.

# Structure phasaire des populations de Novembre-Décembre 1987

Au début de l'invasion acridienne de 1987, les essaims envahissant le Maroc sont composés d'individus appartenant simultanément aux 3 phases. L'importance de chacune d'elles varie entre les populations et au sein d'une même population selon le sexe considéré.

# Variations entre les sexes

Aucun individu, ayant un profil E/F caractérisant la phase solitaire, n'est rencontré dans les populations de Taiba. Les individus prélevés de Doughoulid se caractérisent par la pré-

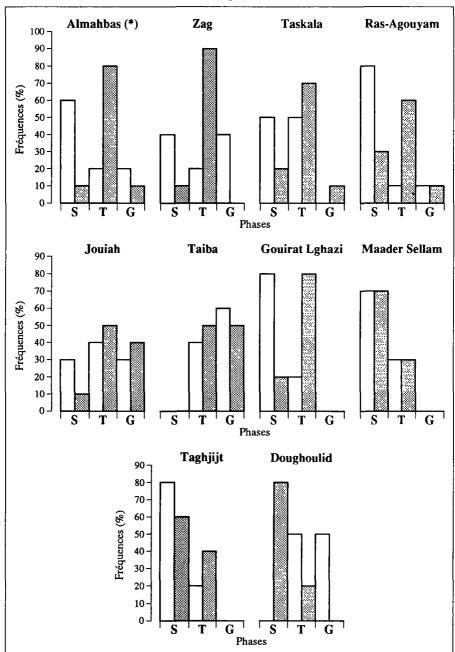


Figure 1. Régions des prélèvements des populations des adultes de S. gregaria durant l'invasion du Maroc en Automnes 1987 (+) et 1988 (•)

dominance des mâles solitaires (80%) et l'absence des femelles de la même phase (fig. 2). Pour les autres populations, hormis celles provenant de Maader Sellam où les adultes solitaires des 2 sexes existent dans les mêmes proportions (70%), ce sont les femelles qui sont les plus abondantes; elles représentent entre 30% et 80% des femelles prélevées de ces localités (fig. 2).

Pour les morphotypes transiens, à l'exception des adultes issus soit de Maader Sellam où les deux sexes ont les mêmes effectifs, soit de Doughoulid où les femelles prédominent (50%), ce sont les mâles qui sont les plus fréquents dans les huit autres populations; leurs fréquences relatives varient de 40% à 90% (fig. 2).

Aucun adulte, ayant les caractères morphométriques utilisés de type grégaire, n'est présent dans les essaims passant la nuit à Gouirat Lghazi, à Maader Sellam ou à Taghjijt. Il en est de même pour les mâles à Zag ou à Doughoulid et pour les femelles à Taskala. Pour les autres populations, ce sont en général les femelles qui sont plus abondantes (de 20% à 60%) que les mâles au sein d'un même essaim (fig. 2).



(\*): Nom de la localité des prélèvements

# Variations entre les populations

Pour un même sexe, les pourcentages des adultes ayant des rapports E/F caractérisant chaque forme du criquet pèlerin varient selon leurs provenances.

Chez les mâles, les dix populations étudiées sont composées de 31% de solitaires, de 57% de transiens et de 12% de grégaires. Les individus appartenant à la phase transienne prédominent dans les populations d'Almahbas, de Zag, de Taskala, de Ras Agouyam, de Jouiah et de Gouirat Lghazi. En revanche, dans les populations de Maader Sellam, de Taghjijt et de Doughoulid, c'est la forme solitaire qui est la plus représentée avec respectivement 70, 60 et 80%. A Taiba, il y a autant de formes intermédiaires que de grégaires (50%). Dans les populations de Jouiah, la phase grégaire atteint 40% des mâles échantillonnés. A Almahbas, à Taskal et Ras Agouyam, la forme grégaire est représentée par 10% des mâles prélevés (fig. 2).

Chez les femelles, ce sont en général les individus dont E/F est de type solitaire qui sont les plus fréquents dans les essaims provenant d'Almahbas de Ras Agouyam, de Gouirat Lghazi, de Maader Sellam et de Taghjijt. Leurs proportions vont de 60 a 80% (fig. 2). Les formes transiennes ont généralement une importance variable entre les populations, elle oscille entre 10 et 50%. Les individus constituant la phase grégaire sont absents de Gouirat Lghazi, de Maader Sellam et de Taghjijt. Avec 60%, ils sont dominants à Taiba. Pour l'ensemble des populations les formes solitaires, transiennes et grégaires représentent respectivement 49%, 30% et 21%.

# Structure phasaire des populations de Novembre 1988

En Automne 1988, la composition phasaire du criquet pèlerin varie aussi selon le sexe et en fonction des populations.

# Variations entre les sexes

Les femelles du type solitaire sont plus abondantes que les mâles de la même phase à Ras Tarf, à Mesti, à Assa, à Bouzakerne, à Taznakht et à Tlat Lmakhazni. Leur importance relative varie de 30% à 60% (fig. 3). A Kalaa Megouna, le pourcentage des mâles solitaires est par contre plus élevé que celui des femelles (50%>40%).

Les formes transiennes, dont l'importance varie selon les populations, sont globalement plus nombreuses chez les mâles que chez les femelles (fig. 3).

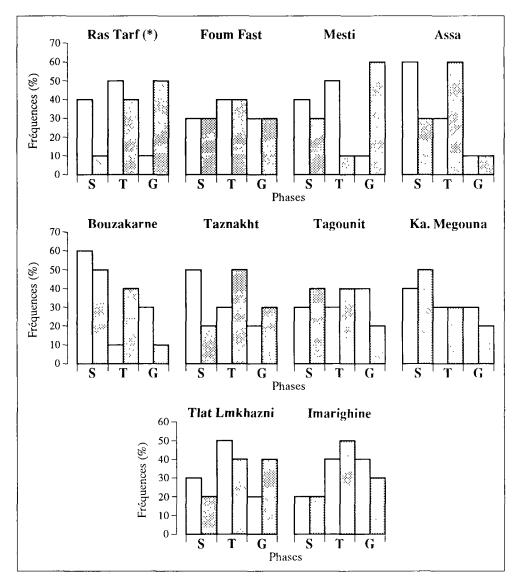
Chez les deux sexes, l'ensemble des individus grégaires représente 30% des populations étudiées.

A Foum Fast, mâles et femelles acquièrent les 3 phases avec les mêmes fréquences (fig. 3).

# Variations entre les populations

Pour un même sexe, les 3 formes ne sont pas représentées avec les mêmes fréquences dans les populations étudiées (fig. 3).

Parmi les mâles, les individus solitaires prédominent dans les essaims prélevés de Bouzakerne et de Kalaa Megouna: 50%. Alors que les morphotypes transiens sont plus



(\*): Nom de la localité des prélèvements

abondants à Four Fast, à Assa, à Taznakht et à Imarighine. A Ras Tarf et Mesti, les individus grégaires représentent respectivement 50% et 60% des populations prélevées. A Tlat Lmakhazni, transien et grégaire représentent 40% chacun (fig. 3).

# Morphométrie des criquets adultes

Chez les femelles, les individus à profil E/F de type solitaire ont des fréquences plus élevées à Kalaa Megouna (0,4), à Taznakht (0,5), à Bouzakarne (0,6) et Assa (0,6). Les plus grands pourcentages des transiens se rencontrent à Foum Fast (40%), à Ras Tarf (50%), à Mesti (50%) et Tlat Lmkhazni (50%). Les formes grégaires représentent entre 10% et 40% des populations échantillonnées (fig. 3). Le pourcentage phasaire global des essaims est de 40% pour les solitaires, de 36% pour les transiens et de 30% pour les grégaires.

# Variations entre les populations de 1987 et de 1988

La comparaison entre les populations appartenant au même sexe permet de visualiser l'évolution phasaire d'année en année.

# Comparaison entre les femelles

Pour la phase solitaire, les adultes de l'ensemble des populations allochtones accusent une réduction dans leur importance, ils passent de 49% en 1987 à 40% en 1988. En revanche, les formes transiennes et grégaires augmentent en proportions chaque année; elles passent respectivement de 30% à 36% et de 21% à 24% des populations (fig. 4).

# Comparaison entre les mâles

On rencontre presque les mêmes proportions chez les morphotypes solitaires : 30% en 1987 et 31% en 1988. Les transiens, représentant 57% de l'ensemble des populations en 1987, n'en constituent que 40% en 1988. En 1988 les effectifs des formes grégaires, par contre, dépassent de loin le double des populations étudiées en 1987 (fig. 4).

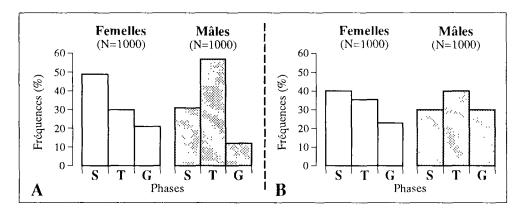


Figure 4. Distribution des fréquences des populations d'adultes de S. gregaria selon leur polymorphisme phasaire (S: solitaires; T: transiens; G: grégaires) durant l'invasion du Maroc.

A. en 1987

B. en 1988

Les mâles semblent acquérir plus rapidement la phase grégaire par rapport aux femelles.

# Conclusion

Au terme de cet exposé, il ressort que les populations adultes de *S. gregaria* envahissant le Maroc en 1987 et en 1988 sont composées de mosaïques phasaires. Cette juxtaposition des individus appartenant aux 3 phases dans une même population est très bénéfique pour l'espèce; elle lui permet d'étendre son aire de répartition en colonisant d'autres territoires plus favorables à sa reproduction et à son développement. En l'absence de possibilité de diapause, la pérennité de l'espèce serait ainsi mieux assurée.

Les morphotypes grégaires augmentent d'année en année au détriment des phases intermédiaire et solitaire. Aussi les essaims provenant de différentes régions et vraisemblablement de différentes générations, ont-ils pu atteindre les régions de Missour, de Khénifra et de Marrakech en Automne 1988. Alors, qu'ils n'ont guère franchi Tlat Lakhsass et Tafraout en 1987 et ce en dépit des moyens de lutte mis en œuvre moins importants en 1987 par rapport à ceux déployés en 1988.

# Références

- 1. Ellis PE. (1959). Some factors influencing phase characters in the nymphs of the locust, *Locusta migratoria migratorioides* (R et F). Insectes sociaux; 6: 21-39.
- 2. Kennedy JS (1961). Continuous polymorphism in Locusts. In: *Insects polymorphism*, ed Kennedy, pp 80-90, London.
- 3. Uvarov BP. (1966). Grasshoppers and locusts. Vol 1, 481 p, Cambridge Univ Press, GB.
- 4. Albrecht FO. (1967). Polymorphisme phasaire et biologie des Acridiens. Ed. Masson et Cie; Paris, 194 p.
- 5. Rowell CHF. (1971). The variable coloration of Acridoid grasshoppers. Adv Insect Physiol; 8: 145-197.
- 6. Uvarov BP. (1921). A revision of the genus *Locusta* L. (= *Pachytylus*, Fieb.) with a new theory as to the periodicity and migration of locusts. Bull Ent Res; 12: 135-163.
- 7. Odnri. (1988). Manuel de lutte anti-acridienne. Odnri, RU, 191 p.
- 8. Uvarov BP, Zolotarevsky BN. (1929). Phases of locusts and their interrelations. Bull Ent Res, 20: 261-265.
- 9. Dirsch VM (1953). Morphometrical studies on phases of the desert locust. Anti-Locust Bull, 16, 34 p.

# 5

# L'invasion acridienne en Tunisie et les moyens mis en œuvre pour la combattre

# DHOUIBI M.H.

INA de Tunis, Laboratoire d'Entomologie, 43 avenue Charles-Nicolle; 1002 Tunis, Tunisie

Le service d'acridologie relevant de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a tiré la sonnette d'alarme dès 1986 sur l'imminence de l'invasion acridienne qui toucherait un grand nombre de pays d'Afrique.

En effet à partir de 1985, il a été observé un changement de comportement du criquet pèlerin annonçant un début de grégarisation. Les zones concernées se trouvaient de part et d'autre de la mer rouge, aux confins du Niger, du Mali et de l'Algérie et enfin sous forme d'îlots en Mauritanie et au Sénégal. Il s'agit là de régions isolées les unes des autres, mais se trouvant presque à l'intérieur d'une bande transversale, entre le 15<sup>e</sup> et le 18<sup>e</sup> parallèle nord (fig. 1).

En 1986, la situation a évolué dans le sens d'une extension des zones précédemment décrites avec un début de migration dont les directions diffèrent selon les foyers grégarigènes (fig. 2):

- de la mer Rouge : les migrations ont intéressé l'Egypte et le Soudan, d'un côté, l'Arabie saoudite de l'autre côté;
- de la zone frontalière : Algérie-Mali-Niger, les déplacements ont pris la direction Maroc-Afrique du Nord;
- de la Mauritanie-Sénégal, les essaims se sont dirigés vers le sahara occidental et le Maroc.

Des articles parus, sur la presse, se sont faits l'écho de ces déplacements et ont cherché à sensibiliser l'opinion du pouvoir public sur les risques qui pourraient en découler.

En 1987, les aires grégarigènes tendent à se rejoindre pour former une bande large et qui va de la mer rouge jusqu'à l'océan atlantique, de là les essaims vont se disséminer pour envahir principalement la Mauritanie, le sud du Maroc. Quelques îlots ont été repérés cependant au sud de l'Algérie, en Tunisie voire dans le sahara de la Libye (fig. 3).

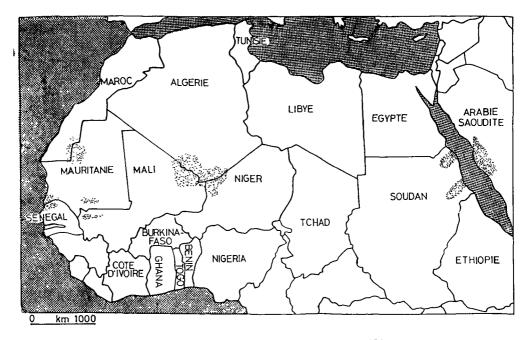


Figure 1. Evolution des essaims du criquet pèlerin à la fin de décembre 1985.

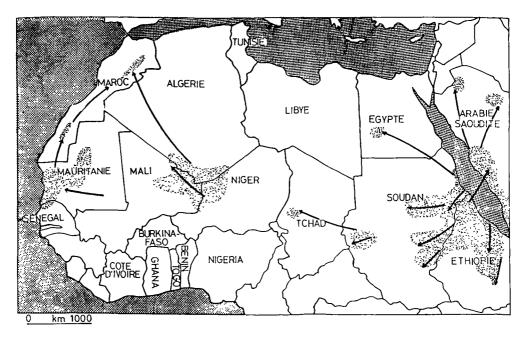


Figure 2. Evolution des essaims du criquet pèlerin à la fin de décembre 1986.

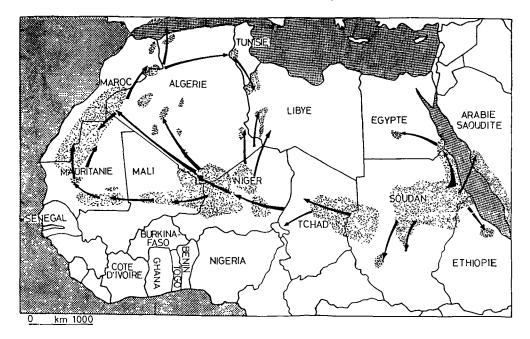


Figure 3. Evolution des essaims du criquet pèlerin à la fin de décembre 1987.

La présence du criquet pèlerin dans le sud tunisien en 1987 est passé presque inaperçue: et d'ailleurs elle était de courte durée puisque le criquet pèlerin n'a pas tardé à regagner la Libye.

Il est à noter que l'année 1987 a connu des conditions favorables (pluies abondantes et températures élevées) (selon les experts du Prifas).

# Invasion acridienne en Tunisie

La présence exceptionnelle des pluies abondantes aux confins de l'ensemble Maroc-sahara occidental-Algérie-Mauritanie et de la température anormalement élevée ont été à l'origine de la formation d'un couvert végétal exceptionnel qui a permis une bonne reproduction en décembre 1987 et en janvier-février 1988 donnant des ailés abondants en mars-avril aptes à conquérir successivement le Maroc, l'Algérie et la Tunisie (fig. 4).

Donc les criquets qui ont envahi la Tunisie ont pris naissance dans les régions autres que celles des aires grégarigènes. A la même période à partir de la Mauritanie des essaims se sont dirigés vers le Sénégal et les îles du Cap vert. Alors que ceux originaires du sud Algérien avaient pris la direction sud ouest Niger-Mali.

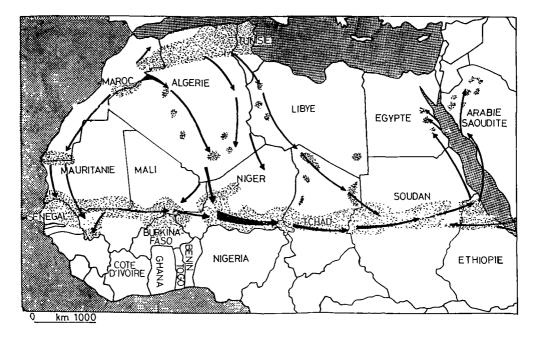


Figure 4. Evolution des essaims du criquet pèlerin de mai à juillet 1988.

# Voies de pénétration du criquet pèlerin en Tunisie

La pénétration du *Schistocerca gregaria* en Tunisie s'est produite selon les mêmes itinéraires suivis par le criquet pèlerin lors de l'invasion 1957 à savoir :

- Une voie méridionale qui conduit les essaims à travers le couloir de Gabes vers les plaines de l'est et du nord-est du pays (Gabes, Sfax, Cap-bon).
- Une voie septentrionale, d'ailleurs la plus importante, permettant aux essaims de s'orienter à travers le couloir de Gafsa aux régions du centre et du nord.

Des pénétrations ont été observées cependant à partir du territoire libyen. Elles étaient dues essentiellement aux vents dominants qui, à cette époque, prenaient la direction sudest nord-ouest.

Ainsi les premiers ailés considérés comme éclaireurs en provenance d'Algérie ou de Libye ont été signalés le 8 mars à Borj-el-Khadra (Gouvernorat de Tataouine) (fig. 5a).

Ce n'est qu'à partir du 15 mars 1988 que les premiers essaims ont commencé leur invasion et se sont succédé par vagues en empruntant les deux itinéraires sus-mentionnés.

Vers la mi-mars de gros essaims ont survolé le Djérid et ont envahi la région de Gafsa. Au niveau du plateau de Gafsa, aidés par les vents dominants, les essaims ont éclaté le 16 et le 17 mars en prenant plusieurs direction vers Sfax, Sidi-Bouzid et vers Kasserine. D'autres essaims se sont posés les jours suivants sur Kébili, Tataouine, Tozeur, et Gafsa. Au gré des vents dominants les essaims ont ensuite progressé vers le nord du pays où des fragments ayant échappé aux traitements ont été retenus par le relief ou sévissaient des

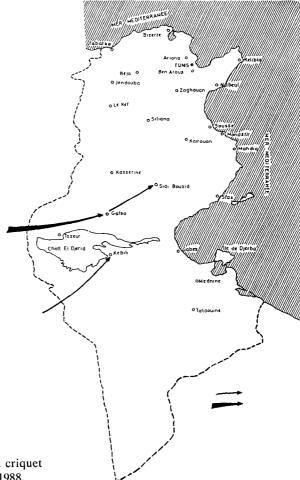


Figure 5a. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie du 10 au 20 mars 1988.

conditions climatiques favorables. Pendant les mois d'avril et de mai, la plus grande partie des infiltrations a été enregistrée à Siliana et au Kef venant de Tebessa (Algérie), en parallèle des infiltrations du sud ouest vers Gafsa et Kasserine ont eu lieu (figs. 5b, c, d).

Au cours du mois de juin, les vols ont concerné surtout le nord du pays (fig. 5e).

Il y a lieu de signaler la présence lors de la récente invasion de plusieurs essaims de même taille ou de tailles différentes ou semblables qui se rassemblaient pour former un seul. Il y a donc dans la nature de grands et de petits essaims formés de quelques dizaines de millions à quelques dizaines de milliards d'individus.

En dehors de cet aspect quantitatif et qualitatif, nous avons observé deux formes d'essaims :

- essaims cumuliformes : qui volent à très haute altitude, supérieure à 1 000 mètres, sont peu fréquents. Généralement, sont constitués par des populations ayant passé la nuit

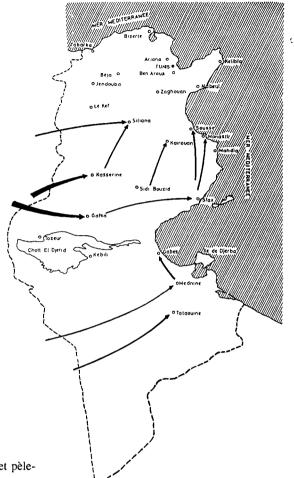


Figure 5b. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie du 21 au 30 mars 1988.

sur le territoire algérien à proximité des frontière tunisiennes, le lendemain s'envolent pour atterrir au centre du pays (Sidi-Bouzid). De ce fait son capables de parcourir de très grandes distances (300 km) aidés en cela par les courants ascendants.

- essaims stratiformes : leur altitude ne dépasse guère les 1 000 mètres et ils constituent les principales infiltrations. Le déplacement des essaims est fonction de la direction et de la vitesse des vents dominants.

La pénétration des essaims formés d'individus transiens congregans ou grégaires, dans le territoire tunisien a lieu le plus souvent après quinze heures (15 h) et l'atterrissage des criquets survient à la tombée du jour. L'envol des criquet peut être déterminé par l'état physiologique, le vent et la température.

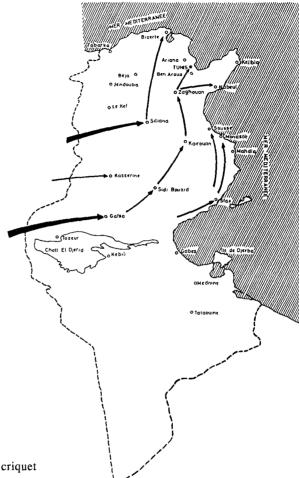
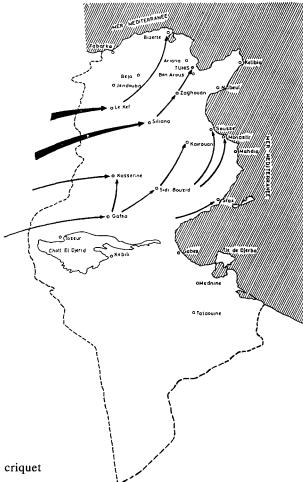


Figure 5c. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie en avril 1988.

Par contre l'envol d'essaims formés par des criquets immatures a eu lieu durant la matinée. Lors de nos observations, nous avons noté que les criquets avant de s'envoler doivent passer un moment de réchauffement.

Ainsi après le levé du soleil, les criquets se mettent perpendiculairement aux rayons solaires pour augmenter leur température interne. Quand le vent est fort et souffle par rafales, il gêne l'envol, et les criquets se mettent alors à l'abri du vent et ou s'accrochent aux tiges, rameaux poteaux etc.

En ce qui concerne les adultes sexuellement mûrs ils ne s'envolent qu'après accouplement et ponte.

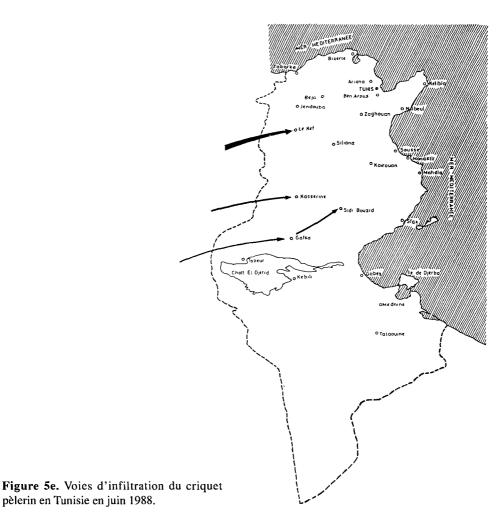


**Figure 5d.** Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie en mai 1988.

En réalité, un essaim est formé d'individus se trouvant à des stades physiologiquement différents. Ce qui fait que l'on va assister à des départs échelonnés : les immatures sont les premiers à partir, juste après la période de réchauffement, sous forme d'éclats successifs.

# Etat physiologique et reproduction des essaims envahissant la Tunisie

Depuis la première infiltration jusqu'à la première quinzaine du mois d'avril les essaims venant d'Algérie sont principalement constitués de jeunes ailés immatures caractérisés par



leur couleur rosâtre. A partir de la deuxième quinzaine d'avril, le degré de maturité devient nettement plus avancé.

pèlerin en Tunisie en juin 1988.

Durant le mois de mai, les essaims se trouvant en Tunisie sont sexuellement mûrs avec un faible pourcentage de jeunes immatures. Un mois plus tard, nous avons observé à la dissection parmi les populations présentes, un certain nombre de femelles ayant des ovaires vides ce qui signifie qu'elles ont déjà pondu vraisemblablement avant leur pénétration. Mais les premières pontes en Tunisie n'ont été notées que début mai sous forme de tâches éparpillées. Les premières éclosions ont été enregistrées début juin.

Dans ces conditions on peut conclure que la durée d'incubation est d'une vingtaine de jours environ.

Les premières larves sont apparues début juin, mais pratiquement n'ont pas pu évolué, en raison des traitements dont elles furent l'objet (voir plus loin).

Les premières zones touchées par l'invasion acridienne c'est-à-dire celles qui sont limitrophes de l'Algérie et de la Libye (Medenine, Kebili, Gafsa...) ont été caractérisées par un printemps sec et chaud. Ces conditions climatiques n'étaient pas favorables à la reproduction du criquet. Les pontes dans ces régions étaient pratiquement nulles.

En revanche les zones plus septentrionales (Kasserine, Sidi Bouzid, Kef...) ont connu un printemps assez pluvieux avec des températures oscillant entre 15 et 30°C (Ex. Siliana), ce qui a favorisé l'activité de ponte du criquet, laquelle a été observée essentiellement dans les Oueds et les terrains à sols meubles (région de Haffouz à Kairouan par exemple) (fig. 6).

Après cette période de reproduction, les adultes ont probablement amorcé leur retour en états dispersés à partir du mois de juin vers des zones de conditions climatiques plus favorables principalement le Sahel caractérisé par un été pluvieux.

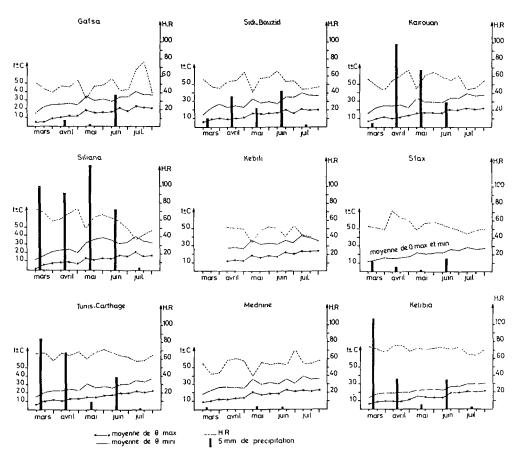


Figure 6. Courbes des moyennes de  $\theta$  max. et de  $\theta$  min. et de l'H.R. des zones envahies par criquet pèlerin, de mars à juillet 1988.

# Dégâts causés par les criquets

En Tunisie, les conséquences sur la végétation ont été minimes, soit au fait que l'arrivée du criquet pèlerin en Tunisie a coincidé avec la forme transiens congregans qui a évolué rapidement en transiens dissocians, soit à la rapidité d'interventions qui ont entraîné la mortalité quasi totale des essaims. Toutefois des dégâts ont été observés parci et parlà, mais sous forme de tâches très localisées (vergers, amandiers, figuiers...).

# Lutte anti-acridienne

La lutte anti-acridienne a mobilisé tous les moyens disponibles même si au départ tout se passait comme si on était pris au dépourvu : non disponibilité des produits, la méconnaissance des doses à employer et des techniques à appliquer.

Il est vrai que le produit acridicide qui a fait ses preuves, la diéldrine, fut l'objet de controverse compte tenu de ses effets collatéraux sur l'environnement, en effet une polémique s'est développée à propos de ce produit, très efficace, bon marché, mais très préjudiciable aux équilibres naturels; d'ailleurs sa synthèse et sa fabrication ne sont plus autorisées dans certains pays. Il fallait donc trouver rapidement des produits de substitution, efficaces et bon marché de manière à faire face à la présence du fléau.

C'est pourquoi nous avons commencé par l'utilisation des produits insecticides disponibles, en cherchant à expérimenter d'autres matière actives, déterminer le moment d'intervention selon le mode de traitement.

Une lutte rationnelle aurait due viser la formation des transiens congregans ou acridiens grégaires, sinon leur destruction dans leur foyers grégarigènes (foyers d'origine). Cela aurait nécessité moins de produits (traitements localisés) et aurait eu moins d'effets sur l'environnement. Jusqu'à lors cet objectif n'était pas atteint et encore moins visé par les pays concernés par le fléau acridien, en raison sans doute de la difficulté de leur délimitation dans l'espace.

Actuellement, les pays concernés cherchent à détruire les essaims en migration et les bandes larvaires qui en sont issues.

En Tunisie, la campagne anti-acridienne a été basée essentiellement sur la lutte chimique en mobilisant tous les moyens humains et matériels disponibles.

# Organisation de la campagne

# Comité nationale de vigilance et de lutte contre le criquet

Ce comité regroupe les représentants des différents ministères (de l'Intérieur, de l'Agriculture, de la Santé publique, de la Défense nationale, du Plan, des Finances et de l'Institut National de Météorologie).

Le rôle du comité est de coordonner toutes les actions relatives aux prospections et aux interventions. Le siège est au PC à l'Aouina.

Le comité national est assisté par les responsables des cellules spécialisées :

- Cellule d'acridologie : suivi technique, préparation de documents à la presse, choix des pesticides, flash à la télévision.
- Cellule logistique : matériel de traitement, balisage, produits, stockage des acridicides à l'échelle centrale et régionale.
- Cellule dotée de moyens d'informatique : données relatives aux infestations, moyens d'interventions, moyens fournis par la coopération internationale.
  - Cellule budget : acquisition de matériels et de produits nécessaires.

Par ailleurs il a été procédé à l'image du Comité National à la création de Comtés régionaux au siège du Gouvernorat dans les CRDA et présidés par les Gouverneurs, leur rôle est d'informer le PC Central de la situation des nouvelles infestations, de la situation des stocks (matériel, produit) et de l'état des traitements.

# Déroulement de l'opération

Durant la période d'invasion, deux axes d'intervention ont été établis (fig. 7) :

- le premier axe ou ligne de front inclut les gouvernorats suivants : Kef Kasserine, Gafsa, Tozeur, Kébili, Gabes, Médenine et Tataouine.
- le deuxième axe ou ligne de repli, regroupe les gouvernorats de Béja, Siliana, Kairouan, Sidi Bouzid et Sfax. Les moyens mis à leur disposition peuvent être engagés en renfort en cas de grande invasion au niveau de la ligne de front.

# **Prospection**

C'est l'opération la plus importante dans la campagne de lutte anti-acridienne. Elle couvre toute la région; concernant les gouvernorats frontaliers, certains prospecteurs sont équipés de jumelles. Ils donnent les informations sur l'invasion (densité, état physiologique de l'insecte, etc.), état du terrain, conditions météorologiques (vent dominant) et surtout délimitent bien la zone infestée. Ces informations recueillies sur place sont transmises au comité régional qui à son tour les faisait répercuter au comité national.

# Exécution des traitements

Pour être efficace, l'opération de traitement anti-acridien doit répondre à des conditions particulières : coïncidence dans le temps et dans l'espace des interventions chimiques avec la présence des populations acridiennes.

La campagne de lutte anti-acridienne a mobilisé tous les techniciens de la défense des cultures ainsi que les cadres régionaux des autres secteurs de l'agriculture.

#### Traitements aériens

Cette opération de traitement est réservée aux zones d'accès difficile pour les groupes terrestres en utilisant les hélicoptères dans les zones montagneuses ou présentant des obs-

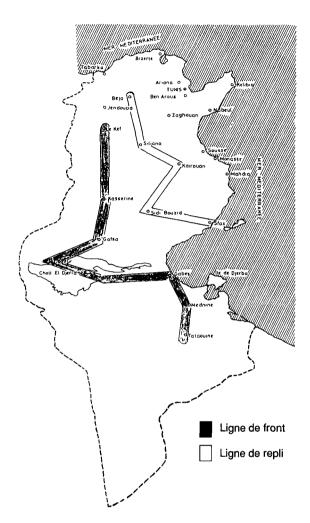


Figure 7. Axes d'intervention

tacles, sinon les avions (pipper, Growman...) en absence de poteaux électriques, téléphoniques et des zones non vallonnées.

# Balisage de la zone à traiter

Le balisage de la zone à traiter par avion constitue le point faible de la stratégie adoptée. L'incinération de pneux usés, de pailles et de chaumes, dégage la fumée. C'est un moyen très pratique mais peut induire en erreur le pilote si les agriculteurs de la zone infestée utilisent cette méthode pour faire fuir les criquets. Cette méthode a été alors complétée par l'utilisation des véhicules à phare tournant ou de gyrophare.

Cette tâche est exclusivement afférente aux prospecteurs.

# Moment de traitement

Contrairement aux traitements terrestres, les traitements aériens ne sont efficaces que sous certaines conditions : conditions météorologiques favorables, absence de vent, bonne visibilité et horaire bien limité.

C'est la raison pour laquelle les traitements ont été effectués après la période de réchauffement de l'insecte; c'est-à-dire assez tôt le matin avant le début d'envol. En zones forestières et arboricoles, le déclenchement des interventions s'est fait un peu plus tard en attendant l'entrée en mouvement des insectes de façon à ce qu'ils soient bien exposés aux traitements.

# Traitements terrestres

Ils concernent les zones à terrain plat. Ils sont appliqués très tôt le matin jusqu'à la reprise d'envol des insectes, comme ils peuvent être appliqués le soir. Par ailleurs, il est recommandé de n'utiliser les véhicules équipés d'ENS que pendant le jour et en présence de vent.

# Acridicides utilisés

Durant la campagne, plusieurs types de produits ont été employés (poudre, émulsion concentrée et formulations ULV (Tableau I).

Tableau I. Produits chimiques utilisés sur S. gregaria ailés en Tunisie.

Groupe chimique	Matière active	Mode d'application	Dose employée
Organochlorés	HCH 25%	Terrestre/poudre	5 kg ma/ha utilisé exceptionnellement dans les zones désertiques
Organo-phosphorés	Malathion 96	ULV	0,8 à 1 l/ha
	Fenitrothion 500	ULV	0,7 à 1 l/ha
	Fenitrothion 50 RC	50 EC	250 cc/hl
Carbamates	Sevin 4 oil	ULV	1 l/ha
	Carbaryl 10%	Poudre	5 kg/ha
Pyréthrinoides	Decis 5 g	ULV	4 l/ha
•	Decis EC	EC 25	300 cc/hl

# Produits utilisés contre les larves

Decis EC 25 100 à 150 cc/hl Pénitrothion 100 à 150 cc/hl

Les quantités d'acridicides utilisées durant la campagne (d'après Ministère de l'Agriculture) s'élevaient à :

- 340,420 litres par voie aérienne
- 76,265 litres par voie terrestre

# Superficies traitées contre le criquet pèlerin

Le superficies totales traitées contre S gregaria aux stades adulte et larve sont ventilées selon les Gouvernorats et les périodes d'invasion comme suit :

Les superficies totales traitées sont de l'ordre de 360 000 ha réparties selon les stade de l'insecte (Tableaux II, III).

Tableau II. Superficies totales (en hectare) traitées contre les adultes du criquet pèlerin : marsjuillet 1988.

Gouvernorats	mars	avril	mai	juin	juillet	total
Gafsa	26 651	6 580	6 720	7 780	0	47 731
Kef	0	15	24 634	17 021	0	41 670
Sfax	35 431	0	450	0	0	35 881
Kasserine	7 197	8 836	9 606	3 344	0	28 983
Kairouan	3 311	1 127	22 776	950	0	28 170
Sidi Bouzid	11 589	360	9 469	120	0	21 538
Zaghouan	0	350	19 869	20	0	20 239
Ariana	0	13 630	4 442	0	0	18 072
Mahdia	9 077	257	6 228	0	0	15 562
Siliana	1 644	2 500	8 737	150	0	13 031
Beja	0	5 492	6 977	0	0	12 469
Nabeul	1 081	10 096	0	0	0	11 177
Jendouba	0	12	11 098	0	0	11 110
Medenine	417	5837	0	0	0	6 254
Kebili	5 360	0	376	0	0	5 736
Ben Arous	60	800	4 665	0	0	5 525
Tunis	0	0	5 200	0	0	5 200
Sousse	1 375	1 810	1 752	0	0	4 837
Tozeur	3 165	0	165	3	0	3 333
Monastir	3 200	0	0	0	0	3 200
Tataouine	2 220	800	0	0	0	3 020
Bizerte	0	1 912	572	0	0	2 484
Gabès	780	0	355	0	0	1 135
Total	112 558	60 314	144 091	29 394	0	346 357

	<b>Tableau III.</b> Superficies totales (	en hectares	) traitées contre les	larves mars-juillet 1988
--	---	-------------	-----------------------	--------------------------

Gouvernorats	juin	juillet	Total
Kef	2 381	2 515	4 896
Kairouan	3 448	1 045	4 493
Kasserine	742	1 756	2 498
Siliana	1 112	90	1 202
Zaghouan	409	14	423
Ariana	207	45	253
Beja	50	0	50
Total	8 349	5 465	13 814

- superficie traitée contre les ailés : 346 000 ha
- superficie traitée contre les larves : 13 800 ha
- superficie traitées par voie terrestre : 76 750
- superficie traitée par voie aérienne : 283 000 ha

Les régions les plus touchées par l'invasion acridienne sont les zones frontalières (Gafsa, Kef, Kasserine, Siliana, Béja...).

Néanmoins d'autres gouvernorats du centre (Kairouan, Sidi Bouzid) et même du nord (Zaghouan, Ariana, Mahdia, Nabeul) ont été également envahis par le criquet pèlerin, suite aux éclats qui ont pu échappés au traitement.

# Conclusion

La campagne des traitements chimiques menée contre le criquet pèlerin a été couronnée de succès. L'efficacité a été certaine, mais accompagnée de certains effets secondaires qui se sont traduits par :

- des cas d'intoxication d'opérateurs observés sur les lieux de traitements dûs au nonrespect des règles préconisées par le fabriquant
  - des cas d'intoxication du bétail après consommation de fourrages et de pailles traités
- la mortalité relevée dans certaines zones d'oiseaux et d'abeilles vraisemblablement à la suite d'un surdosage survenu lors des traitements croisés surtout aériens (difficultés de balisage, estimation imprécise de la surface infestée, équipement non approprié aux traitements (ULV).

La surveillance et le contrôle des foyers grégarigènes qui sont relativement limités dans l'espace, revêtent une importance particulière pour prédire et prévenir toute invasion acridienne.

A l'heure actuelle, nous ne disposons que de l'arme chimique pour contenir l'invasion acridienne. Par ailleurs de grands progrès ont été accomplis sur d'autres espèces d'insectes en éthologie et en biologie (génie génétique, substance de croissance et médiateurs chimiques...). Il est souhaitable de favoriser de telles recherches sur le criquet pèle-

# L'invasion acridienne en Tunisie et les moyens de lutte

rin, recherches susceptibles de conduire à des applications pratiques de grand intérêt (phéromone de grégarisation, hormones et leurs analogues...).

C'est à ce prix seulement qu'on peut s'attendre à mettre fin aux invasions acridiennes et par la même à épargner aux écosystèmes naturels et humanisés les retombées des traitements chimiques menés à grande échelle.

6

# Le Criquet pèlerin : enseignements de la dernière invasion et perspectives offertes par la biomodélisation

M. LECOQ

Dr. Sc., Entomologiste, PRIFAS/CIRAD, B.P. 5035-34032 Montpellier Cedex 01, France

# Introduction

Le Criquet pèlerin - Schistocerca gregaria (Forskål, 1775) de la famille des Acrididae et de la sous-famille des Cyrtacanthacridinae - est l'une des espèces de criquets les plus importantes à cause:

- de sa grande mobilité (les essaims peuvent parcourir 1000 km en quelques jours),
- de son aire d'invasion très vaste,
- de son grand potentiel reproducteur et de sa capacité à multiplier très rapidement ses effectifs.
  - de sa capacité à consommer chaque jour son propre poids de nourriture fraîche,
- de sa capacité à s'attaquer à une très large gamme de cultures et de leur causer des dégâts très sévères.

Cet acridien est considéré depuis l'Antiquité comme l'un des principaux fléaux de humanité dans l'Ancien Monde. Ses ravages s'étendent à la majorité des pays arides et semi-arides, de la côte ouest de l'Afrique à l'Inde. En période d'invasion, les essaims de Criquet pèlerin peuvent envahir une aire couvrant plus de 29 millions de kilomètres carrés, soit plus de 20% des terres émergées.

Après un aperçu des grands traits de la bio-écologie du Criquet pèlerin et de la stratégie de lutte préventive actuellement préconisée, nous verrons les enseignements à tirer de la dernière invasion massive de cet acridien avant d'envisager les perspectives offertes par

les techniques de biomodélisation pour renforcer les capacités de surveillance de sa vaste aire d'habitat et améliorer les techniques de prévention des invasions.

# Grands traits de la bio-écologie du Criquet pèlerin

# Les phases du Criquet pèlerin

Le Criquet pèlerin appartient à la catégorie des acridiens de type "locuste" présentant un phénomène de polymorphisme phasaire, c'est-à-dire la possibilité de développer des aspects variés et réversibles selon la densité des populations. Ces différents aspects sont désignés sous le terme de phases. Schématiquement, on parle de phase solitaire pour les populations de faible densité et de phase grégaire pour les populations de forte densité.

Le terme de transformation phasaire désigne le passage d'une phase à l'autre. Il existe, par ailleurs, des formes intermédiaires dites *transiens*. On parlera de *transiens congregans* dans le cas d'une évolution de la phase solitaire vers la phase grégaire et de *transiens degregans* dans le cas inverse du passage de la phase grégaire vers la phase solitaire. Le passage de la phase solitaire à la phase grégaire demande en général plusieurs générations successives au cours desquelles les conditions favorisant la transformation phasaire se maintiennent.

Le principal facteur déclenchant est la densité. Des individus grégaires ou solitaires peuvent être obtenus à partir d'une même ponte simplement en élevant les larves nouveau-nées les unes en groupe, les autres isolément. Si les mêmes conditions de densité sont imposées à plusieurs générations successives, on peut passer rapidement, via la phase transiens, de la phase solitaire type à la phase grégaire type, ou inversement. Le passage de la phase grégaire à la phase solitaire est cependant souvent plus rapide que l'inverse.

Les effets de la densité doivent être répartis en deux catégories. On doit distinguer les effets immédiats du groupement et les effets transmis à la descendance.

Les effets immédiats sont ceux qui se manifestent sans délai chez les individus subissant la modification de densité. Il s'agira essentiellement (et si l'on s'en tient seulement aux apparences) de modifications comportementales et, chez les larves, de modifications pigmentaires.

Les effets transmis sont ceux qui se manifestent au niveau de la descendance (changements morphologiques, anatomiques, physiologiques, écologiques...).

En fonction du stade de développement, les seuils densitaires de transformation phasaire sont approximativement\* les suivants:

Le Criquet pèlerin est ainsi l'espèce connue la plus sensible aux modifications de la densité des populations. Ce seuil de grégarisation très bas est donc facile à atteindre, ce qui explique que les départs d'invasion du Criquet pèlerin soient fréquents et que, dans

<sup>\*</sup> En réalité le seuil de transformation phasaire effectif pourra être sensiblement différent selon le type de formation végétale et d'une manière générale selon les particularités écologiques des biotopes.

l'histoire (sauf depuis 30 ans grâce à la stratégie de lutte préventive), les périodes d'invasion aient été plus fréquentes que les périodes de rémission.

#### Le mécanisme de la transformation phasaire dans la nature

Comment, dans la nature, se produit le phénomène de transformation phasaire ? Comment passe-t-on de la phase solitaire à la phase grégaire ? Comment passe-t-on d'une période de rémission à une période d'invasion de Criquet pèlerin ?

Trois phénomènes importants vont intervenir:

- la multiplication: permettant une augmentation des effectifs, si des conditions écologiques optimales se maintiennent ;
- la concentration: sur des superficies réduites offrant des conditions favorables au Criquet pèlerin; à l'échelle synoptique grâce au regroupement d'imagos solitaires par les systèmes de vents et/ou, à la méso-échelle, par réduction des surfaces habitables;
- la grégarisation: si la densité critique est atteinte et maintenue au moins le temps d'une génération; en réalité le passage de la phase solitaire type à la phase grégaire type nécessitera le maintien de conditions favorables pendant 3 ou 4 générations successives.

Le premier phénomène dans la succession d'évènements qui vont permettre la transformation phasaire est, en général, le regroupement d'imagos solitaires. En effet, comme les individus solitaires du Criquet pèlerin n'ont pas tendance à rechercher la compagnie de leurs congénères, le premier stade de la transformation phasaire résulte de conditions d'environnement particulières qui vont provoquer un rassemblement important d'imagos.

Le premier phénomène est donc une concentration d'imagos solitaires sur des surfaces réduites qui se produit en général sous l'action de systèmes de vents convergents. D'une manière générale, les criquets en vol ont une direction qui est déterminée essentiellement par celle du vent. Les imagos solitaires, volant de nuit, vont ainsi avoir tendance à s'accumuler au niveau des zones de convergence des vents. Ces zones jouent un rôle très important et en une nuit la densité de la population solitaire peut être multipliée par un facteur 100, voire 1 000. Le seuil de transformation phasaire peut ainsi se trouver brusquement dépassé. Il le sera d'autant plus facilement que cette étape de concentration aura été précédée par une phase de multiplication, à la faveur de conditions écologiques favorables, ayant permis d'accroître sensiblement le niveau des populations sans pour autant atteindre le seuil de transformation phasaire.

Ce phénomène de concentration des solitaires par les systèmes de vents paraît indispensable. Il semble que les populations solitaires ne soient pas capables de se multiplier au rythme nécessaire pour provoquer rapidement des augmentations importantes de densité pouvant conduire au processus de grégarisation. L'afflux soudain de populations importantes permettrait non seulement d'atteindre d'emblée le seuil de transformation phasaire, mais également de «diluer» les agents biologiques de mortalité au point de permettre ensuite des taux de multiplication beaucoup plus élevés.

Cette concentration de populations solitaires a deux conséquences importantes, l'une immédiate (un choc psycho-physiologique modifiant le comportement), l'autre différée (une pré-adaptation de la descendance à vivre en groupe).

Par ailleurs, les zones de convergence des vents sont également des zones à plus forte probabilité de pluie (rappelons que la convergence des vents, et les mouvements d'air ascendants qui en résultent, sont nécessaires – mais non suffisants – pour produire la pluie). Ce système de déplacement avec les vents dominants est ainsi celui qui permet le

mieux au Criquet pèlerin de localiser et d'exploiter les pluies et la végétation saisonnière très éphémère des zones arides et semi-arides où il vit à l'état solitaire.

D'autres facteurs peuvent intervenir pour concentrer les populations solitaires, en particulier les phénomènes de restriction de surfaces habitables par dessiccation progressive des biotopes qui provoquent une augmentation de densité en obligeant les criquets à se rassembler sur des zones favorables de plus en plus réduites. Certains biotopes sont très propices à ce genre de phénomène et constituent des foyers grégarigènes actifs lorsqu'ils sont assez étendus.

Si les criquets solitaires rassemblés dans les circonstances exposées précédemment rencontrent des conditions éco-météorologiques favorables, ils vont effectuer rapidement leur maturation sexuelle et pondre. La concentration des pontes sera forte et les éclosions simultanées. Les nouvelles larves, issues de parents solitaires mais groupés, seront préadaptées à vivre en groupe et auront déjà certaines caractéristiques de la phase grégaire (ou, au moins, de la phase transiens). De plus, si le développement embryonnaire s'est déroulé dans de bonnes conditions, on obtiendra une population de forte densité et le caractère grégaire de ces larves se trouvera renforcé. Il va ainsi se former des rassemblements durables de larves, d'abord non organisés - les taches larvaires - puis organisés - les bandes larvaires. Ces bandes vont évoluer et les individus effectuer leur développement jusqu'à la mue imaginale.

Si de nombreuses taches larvaires apparaissent sur une même zone, elles vont pouvoir se rassembler pour former des bandes larvaires plus vastes. La densité de la population va augmenter et sa grégarite s'accroître. Au contraire, dans le cas d'une tache larvaire isolée, le caractère grégaire de la population étant encore mal fixé, il y a une assez forte probabilité pour que la population se disperse et retrouve progressivement, au cours de son développement, des caractéristiques solitaires. Il en ira de même pour une grande bande larvaire en cas de baisse importante de densité faisant suite à une forte mortalité naturelle ou à un effet dispersif de l'environnement.

L'essaim se forme à partir d'une bande larvaire dont les individus viennent d'effectuer leur mue imaginale. Lorsqu'il s'agit d'un premier essaim d'individus *transiens congregans* nés de parents solitaires, on parle d'essaim primitif. Si les parents étaient déjà grégaires, on parle d'essaim secondaire.

Plusieurs essaims primitifs voisins peuvent s'agglutiner pour n'en former qu'un seul et renforcer ainsi leur cohésion. Inversement, il peut arriver que l'essaim se fragmente et perde sa cohésion, soit parce que la grégarité des ailes est trop faible, soit parce que les effectifs deviennent trop réduits (mortalité naturelle). Il se forme alors des transiens degregans.

### Les invasions généralisées

Lorsqu'il y a de nombreuses bandes larvaires et de nombreux essaims sur de vastes territoires, on parle de période d'invasion. Les dégâts aux cultures peuvent alors être considérables. Entre deux périodes d'invasion on parle de période de rémission. Il y a alors très peu d'essaims ou de bandes larvaires, voire aucune population grégaire. Les dégâts sur les cultures sont dans ce cas très minimes.

Le graphique ci-dessous (fig. 1) montre les variations du nombre de pays envahis par des essaims de Criquet pèlerin depuis 1860. On distingue ainsi nettement l'alternance des

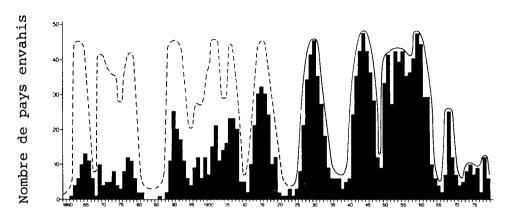


Figure 1. Historique des périodes d'invasion et de rémission chez le Criquet pèlerin (d'après Waloff, 1976 et [3]).

...courbe reconstituée pour tenir compte du manque de signalisations dans les époques anciennes.

périodes d'invasion et de rémission. On peut également constater qu'il n'y a pas de cycle régulier d'invasion et de rémission.

En phase solitaire, *S. gregaria* occupe une aire vaste mais limitée aux régions les plus désertiques d'un territoire allant de l'Atlantique à l'Inde. Il s'agit de régions où la pluviométrie moyenne annuelle est en général inférieure à 100 mm. Cette aire, dite aire de rémission, couvre environ 16 millions de kilomètres carrés et s'étend sur tout ou partie d'une trentaine de pays.

En période d'invasion, les populations grégaires peuvent envahir une aire, dite aire d'invasion, couvrant environ 29 millions de kilomètres carrés, soit à peu près 20% des terres émergées. Cinquante sept pays sont alors concernés (fig. 2).

#### Les aires grégarigènes

Le processus de grégarisation tel qu'il a été décrit dans les paragraphes précédents, a plus de chances de se réaliser dans certaines zones géographiques bien précises: les aires grégarigènes (fig. 3).

Une aire grégarigène est une région ou un ensemble de régions entre lesquelles se font des échanges réguliers de populations, aboutissant certaines années à des grégarisations importantes pouvant donner naissance à une invasion généralisée. Au sein de l'aire grégarigène, les lieux où s'accomplit effectivement la grégarisation (où prennent naissance les bandes larvaires et les essaims primitifs) s'appellent les foyers de grégarisation.

Dans le cas du Criquet pèlerin, on trouve plusieurs aires grégarigènes, les principales étant:

- la frontière indo-pakistanaise (où les systèmes de vents favorisent des concentrations importantes de populations);
- les bords de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden (où le régime des pluies peut fournir des conditions favorables à la reproduction tout au long de l'année);

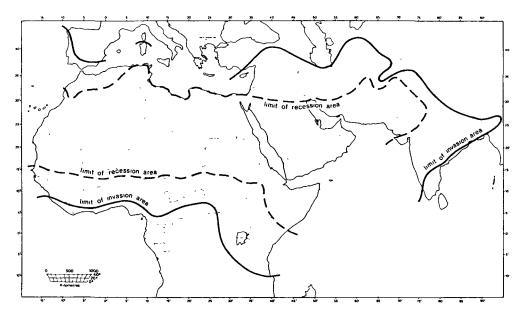


Figure 2. Les limites des aires d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin (d'après Waloff, 1976 et [3]).

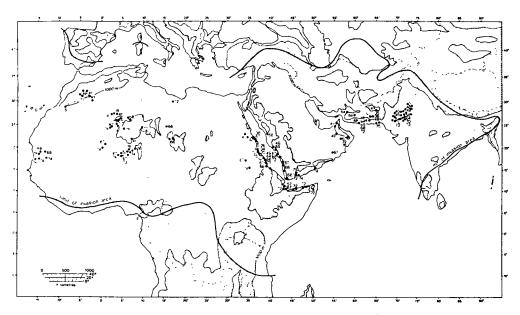


Figure 3. Sites de grégarisation du Criquet pèlerin entre 1926 et 1976 (d'après WALOFF, 1972 et [3]).

- la bordure de certains massifs montagneux (où les phénomènes d'écoulements d'eau favorisent la création de sites favorables): massifs du Sahara central et méridional, bordure sud de l'Atlas, bordure ouest des montagnes de l'Oman, vallées du Mekran au Pakistan et en Iran.

C'est essentiellement dans ces zones qu'ont lieu les premières étapes de la transformation phasaire conduisant à une invasion généralisée.

Ces notions d'aires grégarigènes et de foyers de grégarisation ont beaucoup aidé a l'organisation de la surveillance et de la lutte. C'est grâce à elles qu'il a été possible de mettre au point une stratégie de lutte préventive.

#### Les conditions de déclenchement et d'arrêt des invasions

Des grégarisations sur de petites surfaces sont fréquemment enregistrées dans l'aire d'habitat du Criquet pèlerin. Des grégarisations sur de grandes surfaces, avec production de nombreuses bandes larvaires et d'essaims, sont moins fréquentes. Ce n'est que lorsque la grégarisation a lieu sur de vastes superficies et se maintient pendant plusieurs générations successives qu'elle peut conduire à une invasion généralisée.

On sait maintenant que le principal facteur favorable à la naissance d'une invasion généralisée est une succession de pluies abondantes concernant des surfaces très étendues (d'où l'importance de données pluviométriques de qualité et des satellites météorologiques pour donner l'alerte).

Une fois l'invasion amorcée dans l'une des régions de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin, elle se propage en général en l'espace d'un an ou deux aux autres régions.

L'invasion, une fois déclenchée, est alors très difficile à arrêter. En effet, lorsque le fléau acridien n'a pu être enrayé à son début, il prend une dimension différente pour trois raisons essentielles:

- les formes grégaires sont plus résistantes que les formes solitaires aux conditions environnementales défavorables; elles sont donc capables d'occuper des aires géographiques considérablement plus vastes et maintiennent plus facilement leurs effectifs;
- la grégarisation s'entretient plus facilement d'elle-même qu'elle ne s'arrête; en d'autres termes, le maintien de l'état grégaire suppose des conditions d'environnement plus banales que le passage de la phase solitaire à la phase grégaire; l'invasion s'auto-entretient;
- l'arrêt de l'invasion exige des conditions éco-météorologiques aussi exceptionnelles (mais différentes) que son déclenchement .

Après un certain temps et pour des raisons encore assez obscures, l'invasion décline et s'arrête. On repasse en période de rémission. L'invasion peut d'abord s'arrêter dans une seule région et continuer encore quelques temps dans les autres. L'arrêt total de l'invasion nécessite en moyenne environ deux années.

L'arrêt de l'invasion est en général dû à une succession de conditions écologiques défavorables: froid, sécheresse (absence ou forte baisse des pluies saisonnières permettant la reproduction), migration des essaims dans des zones défavorables où ils sont décimés, renforcement des effets des ennemis naturels.

### Le cycle biologique

Le cycle biologique du Criquet pèlerin comprend, comme chez les autres espèces de criquets, trois états successifs : oeuf, larve et imago (Tableau I). L'oeuf se développe en

**Tableau I.** Durées, en jours, des principales étapes du cycle biologique du Criquet pèlerin en fonction de la phase et des conditions écologiques.

O, oeuf; L, larve; D, durcissement cuticulaire chez l'imago; PV, phase de pré-vitellogénèse; V, vitellogénèse; r, rythme de ponte; lg, longévité de l'imago; G, durée d'une génération (d'après Popov, c.p. et [1]).

Etat phasaire et	Etapes du cycle							
conditions écologiques	О	L	D	PV	V	r	lg	G
Solitaires								
Bonnes conditions	12	30	6	4	6	6	34	58
Mauvaises conditions	65	90	10	135	10	25	180	310
Grégaires								
Bonnes conditions	10	25	6	3	6	6	34	50
Mauvaises conditions	80	52	10	180	10	30	230	332

continu, sans arrêt de type diapause; la durée minimale du développement embryonnaire étant d'une dizaine de jours dans de bonnes conditions. Le nombre de stades larvaires est de 5 ou 6 selon la phase, le développement larvaire durant 25 jours au minimum. Chez l'imago le délai de ponte est au minimum d'une quinzaine de jours. Généralement, les femelles de criquet pèlerin pondent peu de fois dans la nature. Trois à quatre pontes chez les solitaires, deux à trois seulement chez les grégaires.

La durée de vie totale d'une génération, de l'oeuf à l'oeuf, est de l'ordre d'une cinquantaine de jours. Mais, en cas de conditions défavorables, cette durée peut atteindre une dizaine de mois, soit par ralentissement du développement sous l'influence de basses températures, soit par arrêt de la reproduction et installation d'une période de quiescence.

### La stratégie adaptative du Criquet pèlerin

Le Criquet pèlerin n'est entièrement résistant à la sécheresse à aucun de ses stades de développement et n'a pas de mécanisme, comme une diapause des oeufs, pour se protéger contre une dessication extrême. Au contraire, quand les femelles pondent, de l'eau doit être disponible dans le sol en quantité suffisante pour assurer à la fois le développement des oeufs et la croissance de la végétation dont se nourriront les larves et les jeunes imagos issus de ces pontes.

Le Criquet pèlerin ne peut donc survivre dans un environnement aride qu'en se déplaçant d'une zone où il a plu vers une autre zone devenant temporairement favorable, zone pouvant être située à plusieurs centaines, voire à plusieurs milliers de kilomètres de distance de la précédente.

La pluie est ainsi le facteur le plus important car elle crée, directement ou indirectement, un milieu favorable pour toutes les étapes de la reproduction : maturation sexuelle, ponte, développement embryonnaire et développement larvaire. Une pluie de 20-25 mm est normalement suffisante.

Les seuls atouts contre l'aridité dont dispose le Criquet pèlerin se limitent donc à :

- une possibilité de quiescence imaginale;

- une prédisposition aux déplacements à longue distance qui lui permettent d'atteindre des biotopes favorables à la reproduction.

## Les aires saisonnières de reproduction

Sur la plus grande partie de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin il y a généralement une saison des pluies par an, relativement courte le plus souvent, si bien que la plupart du temps la reproduction ne peut avoir lieu que quelques mois pendant l'année. Par ailleurs, les pluies ne se produisent pas toutes aux mêmes saisons dans les différentes parties de l'aire d'habitat. Il en résulte l'existence d'aires de reproduction saisonnières et de déplacements importants de populations entre ces différentes zones écologiquement complémentaires pour l'acridien (fig. 4). Ces zones sont sensiblement différentes selon qu'il s'agit de grégaires (période d'invasion) ou de solitaires (période de rémission).

Certaines années, fastes pour le Criquet pèlerin, la saison des pluies se prolonge ou la pluviosité est très abondante, rendant possible deux générations successives sur des sites très proches, limitant d'autant les pertes d'effectifs liées aux déplacements à grande distance.

## La stratégie de lutte préventive des années 1960 à 80

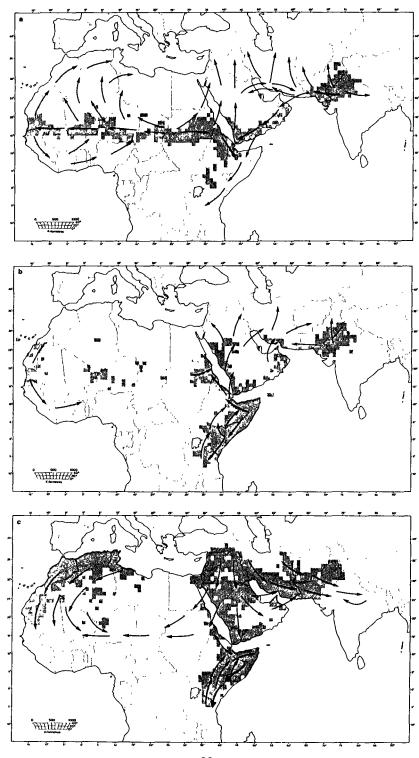
## **Principes**

L'existence d'aires grégarigènes et la succession de périodes d'invasion et de rémission permet d'envisager une lutte préventive dont le but est de prévenir tout départ d'invasion, puisque l'on sait qu'une fois l'invasion déclenchée celle-ci est très difficile à arrêter, même avec des opérations intensives de lutte curative, et qu'alors les risques secondaires des traitements acridicides pour l'environnement sont considérables compte tenu des surfaces concernées.

La stratégie de lutte préventive contre le Criquet pèlerin comporte trois étapes essentielles:

- la surveillance des conditions écologiques dans les aires potentielles de reproduction et de grégarisation (données météorologiques, imagerie satellitaire);
- l'organisation de prospections, aériennes et terrestres, dans les aires devenues potentiellement favorables à la suite de précipitations abondantes;
- la lutte contre toutes les populations de Criquet pèlerin dépassant un certain seuil (Tableau II).

La validité de cette stratégie ne fait pas de doute. Malgré quelques difficultés pratiques, elle a permis de prévenir convenablement des départs d'invasion pendant toute la période de rémission allant de 1962 a 1987. Le départ d'invasion survenu en 1987 résulte non pas d'un défaut de la stratégie mais de l'impossibilité de l'appliquer correctement pour diverses raisons (interdiction d'accéder et de traiter efficacement les zones de pullulations situées dans des régions de conflits armés, affaiblissement des organisations de surveillance et de lutte préventive au sud du Sahara qui n'étaient plus opérationnelles au moment opportun, pressions exercées par certains pays donateurs pour interdire l'utilisation de la dieldrine...).



**Tableau II.** Indications concernant les populations de Criquet pèlerin qui doivent être combattues en période de rémission (d'après FAO in [1]).

C, combattre: O, tenir sous surveillance; X, ignorer.

			Type o	de popula	tion					
	Grégaires		Transiens et solitaires							
			Forte densité		Densité moyenne		Faible densité			
	Grande taille	Petite taille	Grande taille	Petite taille	Grande taille	Petite taille	Grande taille	Petite taille		
Près des cultures	C	C	С	C	С	X	0	X		
Loin des cultures	C	C	C	0	О	X	О	X		
Zones reculées	С	С	C(O)	X	0	X	X	X		
Densités	Larves L1 à L3		Larves L4 et L5			Imagos				
Forte densité	10-100/m <sup>2</sup>			1-10/m <sup>2</sup>			1 000-10 000/ha			
Densité moyenne	2,5-10/m <sup>2</sup>		0,25-1/m <sup>2</sup>			250-1 000/ha				
Faible densité	$< 2,5/m^2$			< 0,25/m <sup>2</sup>			< 250/ha			

Grande taille: > 50 hectares: Petite taille: < 50 hectares.

#### Organisation à l'échelon international

Le Criquet pèlerin étant un insecte extrêmement mobile ne connaissant pas les frontières, la lutte doit être organisée à la fois sur le plan national et sur le plan international.

Au plan national, selon les pays, ce sont les services de protection des végétaux ou des services anti-acridiens spécialisés qui ont en charge la lutte contre les criquets. Dans d'autres cas, les pays ont délégué à des organisations régionales la responsabilité des opérations de surveillance et de lutte. C'est le cas, en particulier, pour de nombreux pays au sud du Sahara.

Au plan international, l'organisation de la lutte contre le Criquet pèlerin constitue un exemple remarquable de coopération (fig. 5). Cinq organisations régionales, créées au cours des années 1960, desservent ensemble presque tous les pays infestés par le Criquet pèlerin:

- la Commission FAO de lutte contre le Criquet pèlerin au Proche-Orient,
- la Commission FAO de lutte contre le Criquet pèlerin dans la partie orientale de son aire de répartition en Asie du Sud-Ouest,
- la Commission FAO de lutte contre le Criquet pèlerin dans le Nord-Ouest de l'Afrique,
  - le DLCO-EA, Organisation de lutte contre le Criquet pèlerin dans l'Est Africain,
- l'OCLALAV, Organisation commune de lutte anti-acridienne et de lutte anti-aviaire pour les pays d'Afrique de l'Ouest au sud du Sahara.

Les Commissions FAO ont essentiellement un rôle de coordination, la responsabilité des opérations restant au niveau de chaque état. Le DLCO-EA, par contre, a en charge les opérations de surveillance et de lutte. Quant à l'OCLALAV, cette organisation est actuelle-

Figure 4. Zones saisonnières de reproduction et déplacements des essaims du Criquet pèlerin [3].

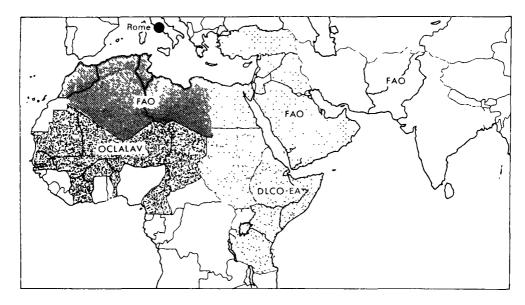


Figure 5. Pays participants à l'organisation de la lutte contre le Criquet pèlerin.

ment en pleine mutation et les états sud-sahariens d'Afrique de l'Ouest ont repris, chacun, la responsabilité des opérations de lutte sur leurs territoires respectifs. L'OCLALAV conserverait un rôle de coordination et d'information, un peu à l'égal des commissions régionales FAO.

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) joue un rôle de coordination à l'échelle internationale. Elle apporte son aide pour les opérations de lutte d'urgence, collecte les informations sur la situation acridienne, diffuse des bulletins de prévision et d'avertissement.

Le principe des prévisions repose actuellement sur la connaissance:

- de l'écologie et du comportement du Criquet pèlerin,
- de la situation acridienne (rapports des prospections de terrain),
- des zones écologiquement favorables (données météorologiques et satellitaires).

Les renseignements transmis par les services de protection des végétaux de plus de 40 pays ainsi que par les deux organisations régionales (DLCO-EA et OCLALAV) et les trois commissions régionales FAO sont regroupés et analysés par un service spécialisé au siège de la FAO à Rome. La confrontation des données de terrain, des renseignements météorologiques et des données fournies par les satellites artificiels, permet d'établir le Bulletin FAO "Criquet pèlerin" comportant l'état de la situation, des prévisions et des avertissements pour les semaines suivantes. Ce bulletin est largement diffusé à tous les organismes concernés par la lutte contre le Criquet pèlerin par télécopie ou par télex. Il comporte en plus une carte de situation acridienne où toutes les données reçues sont regroupées sous une forme symbolique par degré carré. Cette carte permet d'avoir une vue générale de la situation acridienne au cours des semaines précédentes sur l'ensemble de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin.

# L'invasion de 1987-1989 et ses enseignements

#### Le déroulement de l'invasion

On a assisté en 1987/88 à un départ d'invasion généralisée de Schistocerca gregaria, après 25 années de rémission.

L'invasion s'est développée rapidement.

En effet, en 1984, il était rare de rencontrer des Criquets pèlerins sur l'ensemble de l'aire d'habitat. Il semble que le niveau des populations ait été le plus bas jamais enregistré.

Et pourtant, en l'espace de deux ou trois ans, partant de cette situation, on allait aboutir à une nouvelle invasion qui allait gagner une grande partie de l'Afrique au nord de l'équateur. Les figures 6 et 7 permettent de reconstituer les événements depuis 1985.

En 1985, on note quelques pullulations locales en Mauritanie, au Niger, autour de la Mer Rouge à la suite de pluies abondantes succédant à une période de sécheresse.

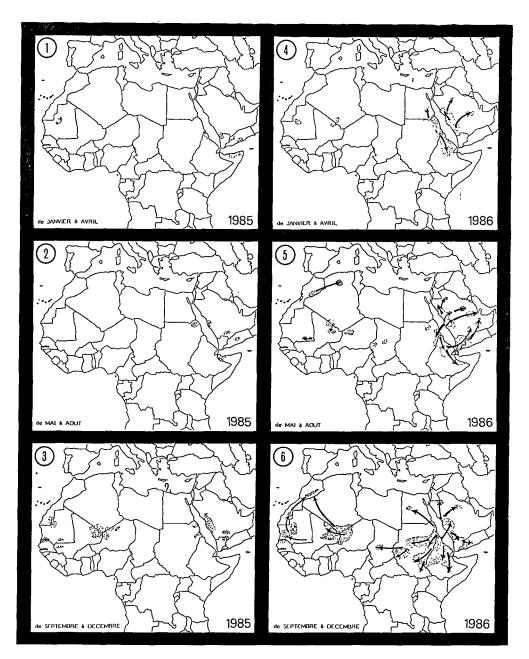
En 1986, le phénomène prend de l'importance surtout autour de la Mer Rouge. Des essaims se forment qui rejoignent des pullulations de Criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest au sud du Sahara. Quelques incursions d'ailés se produisent en Afrique du Nord.

En 1987, de nouveau, les zones grégarigènes des abords de la Mer Rouge fonctionnent. Des essaims se forment. Leur déplacement est, cette fois, manifeste. Ils vont, en migrant vers l'ouest, coloniser toute la zone sahélienne au sud du sahara. Ils s'y reproduisent et leur descendance migre en masse vers le Maghreb à l'automne. C'est la première fois depuis 1960 que l'on assiste à une invasion massive de l'Afrique du Nord.

L'année 1988 correspond, pour les zones occidentale et centrale de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin, à une année typique d'invasion. Les essaims colonisent d'abord l'ensemble du Maghreb où a lieu une importante reproduction printanière. Les températures ne sont pas trop basses et favorisent la dispersion massive des ailés. La pluviométrie est propice à la reproduction. La nouvelle génération ainsi formée effectue ensuite un retour en masse vers la zone sahélienne. Déplacement vers le sud qui a commencé très précocement puisque en mars et avril 1988 on observait déjà une importante recolonisation de la zone sahélienne au niveau de la Mauritanie et du Sénégal. Ce mouvement s'est accentué par la suite en mai et juin. Tous ces essaims de la reproduction printanière se sont reproduit au Sahel à partir du mois de juillet à la faveur des pluies de mousson.

Grâce à une bonne saison des pluies, deux générations de mousson ont pu se développer et à partir de septembre/octobre 1988 un mouvement de retour des essaims de la reproduction de mousson vers le Maghreb a commencé à se dessiner. A partir du mois de novembre le Maroc était largement envahi tandis que l'on continuait à observer des larves au niveau de la zone sahélienne à la faveur d'une fin de saison des pluies tardives. Les derniers essaims produits ne sont pas remontés vers le nord mais ont emprunté le "circuit sud", accompagnant le front inter-tropical dans son mouvement de replis vers le sud. Ce sont ces essaims que l'on a vu circuler pendant toute la saison sèche 1988-89 au Sahel.

En 1989, l'invasion est soudainement entrée dans une phase de régression. Les essaims ayant emprunté le circuit sud semblent s'être progressivement dispersés sous l'effet de la mortalité naturelle avant le retour des pluies. Et surtout, au Maghreb, les conditions de température évitent la dispersion des essaims qui restent bloqués à l'état immature au niveau du Maroc, rendant particulièrement efficaces les opérations de traitement.



**Figure 6.** Déroulement de l'invasion de Criquet pèlerin en 1985 et en 1986 (source PRIFAS, 1989) En gris : les zones de reproduction.

Flèches: sens de déplacement des essaims.

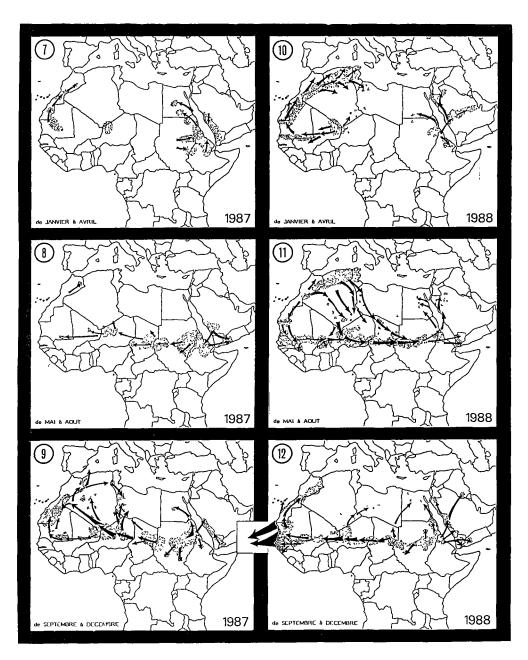


Figure 7. Déroulement de l'invasion de Criquet pèlerin en 1987 et 1988 (source PRIFAS, 1989).

Par ailleurs, il semble qu'à l'automne 1988 une grande partie des essaims formés au Sahel ait été entraînée et perdue en mer. Certains criquets ont atteint le continent américain et ont été signalés aux Antilles et en Guyane. La quantité de criquets ayant pu remonter vers le Maghreb s'en est trouvé diminuée d'autant.

L'invasion paraît donc avoir avorté sans avoir eu le temps de s'étendre à l'ensemble des territoires qui étaient potentiellement menacés et, en particulier, sans toucher véritablement la partie orientale de l'aire d'invasion.

Actuellement, dans le courant du deuxième semestre 1989, le Criquet pèlerin reste fort discret et ne fait plus la une de l'actualité, malgré des conditions écologiques propices au sud du Sahara au cours de la saison des pluies. Au Sahel les traitements sont surtout effectués contre les sauteriaux et en particulier contre le Criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877). Par ailleurs, il semble qu'un autre locuste menace de faire parler de lui : il s'agit du Criquet migrateur africain qui a pullulé de façon importante dans son aire grégarigène du bassin tchadien où plusieurs dizaines de milliers d'hectares ont été traités.

#### Les questions à se poser

Ce démarrage foudroyant d'invasion et sa rémission inattendue posent plusieurs interrogations :

Pouvait-on prévenir le déclenchement de l'invasion dès le début des grégarisations à grande échelle ?

Pouvait-on contrôler plus précocement l'expansion géographique du Criquet pèlerin?

Quel rôle l'homme a-t-il joué dans la rémission du fléau ?

Quel est le rapport coût/performance des opérations de lutte chimique ?

N'a-t-on pas pris des risques de pollution par utilisation massive de pesticides ?

#### La lutte préventive

Concernant la prévention du déclenchement précoce des grégarisations à grande échelle, trois éléments défavorables sont venus conjuguer leurs effets et empêcher l'application des principes de la stratégie de lutte préventive :

- L'impossibilité d'accéder et de traiter efficacement dans les premières zones de pullulations situées dans des régions de guerre ou en zone d'insécurité (Ethiopie, Soudan, Tchad, Mauritanie, Sahara occidental).
- L'affaiblissement des organisations de surveillance et de lutte préventive au sud du Sahara. C'est en particulier le problème de l'OCLALAV qui n'était plus opérationnelle au moment opportun et qui se débattait dans des difficultés extraordinaires de financement, par désengagement des pays membres dont beaucoup se désintéressaient du problème et ne payaient plus, ou avec énormément de retard, leurs cotisations. La dissolution de l'organisation avait même été décrétée à la fin de l'année 1987.
- L'absence de réaction aux avertissements donnés par les experts depuis 1986. Les pays donateurs ont attendu que l'invasion soit devenue évidente pour se mobiliser.

### La polémique sur la dieldrine

Ne pouvant appliquer correctement la stratégie de lutte préventive, il est vraisemblable que l'on aurait pu contrôler plus précocement le développement géographique de l'inva-

sion en utilisant la dieldrine, cet insecticide rémanent sur lequel reposait une bonne partie de la stratégie de lutte préventive, au moins au sud du Sahara et qui était utilisé depuis 30 ans sur le Criquet pèlerin.

Malheureusement certains pays donateurs ont fait pression sur les pays touchés par l'invasion pour les empêcher d'utiliser la dieldrine. Il semble que des traitements effectués à un stade relativement précoce du développement de l'invasion, en août-septembre 1987, alors que les essaims venant de l'est n'avaient pas encore franchi le Tchad, aurait pu venir à bout de ce départ d'invasion et ceci pour une somme relativement modique. Une opération "coup de poing" de l'ordre de 10 millions de dollars dans une zone clé pour le passage des essaims et leur propagation vers l'ouest, aurait sans doute permis d'arrêter l'invasion et d'économiser les 200 ou 300 millions de dollars qui ont été dépensés par la suite.

D'autres occasions de stopper l'invasion furent également ratées, en particulier en Mauritanie septentrionale entre novembre 1987 et février 1988. Comme au Tchad, les infestations étaient alors réduites à des régions localisées et l'on aurait vraisemblablement pu contenir le développement de l'invasion avec les moyens modernes disponibles et si la dieldrine avait été utilisée.

Quoi qu'il en soit, la polémique sur la dieldrine est actuellement close et de nouveaux produits, rémanents mais moins dangereux, apparaissent sur le marché et devraient permettre de lever l'impasse actuelle (inhibiteurs de croissance par exemple).

#### Le rôle de l'homme dans la rémission actuelle?

On ne peut nier que les dizaines de millions de litres d'insecticides concentrés épandus aient eu une action importante sur la réduction des effectifs de criquets. Cependant, on peut se poser la question de savoir ce qu'il serait advenu en l'absence des importantes pertes en mer, des pertes par mortalité naturelle en cours de saison sèche pour toutes les populations sahéliennes ayant emprunté le circuit sud, et si les conditions météorologiques au Maghreb avaient été meilleures pour le criquet et permis à celui-ci de se disperser sur l'ensemble de l'Afrique du Nord. Il est vraisemblable que l'invasion n'aurait pas été stoppée aussi rapidement et il semble bien que ce soit l'ensemble de ces éléments - naturels et humains - qui ait contribué à l'arrêt du phénomène.

Si l'on se hasardait à avancer des chiffres, on serait tenté de mesurer l'action de l'homme à partir de 20%, le reste étant partagé entre les pertes en mer (30%), l'action des basses températures (30%) et la sécheresse de certains sites (20%).

Tout cela reste évidemment très hypothétique, mais l'on doit se souvenir que jusqu'à présent on n'avait pas d'exemple d'une invasion ayant été arrêtée uniquement grâce aux actions de l'homme. Au contraire, une fois déclenchée l'invasion a tendance à se maintenir d'elle-même, à s'auto-entretenir. Il faut des conditions exceptionnelles pour la déclencher, mais il faut également des conditions exceptionnelles pour l'arrêter. Jusqu'aux années 1950 aucune invasion ne s'est terminée sous l'effet des opérations de traitement. On faisait de la lutte palliative; on essayait de protéger ce qui pouvait l'être. Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale et tout particulièrement à la fin de l'invasion de 1949-1962 que le déclin du fléau peut être attribué à la lutte chimique - au moins en partie. Ce fut le cas:

- en 1962 au Pakistan, où l'application aérienne de dieldrine a mis efficacement fin à la précédente invasion généralisée;
- en 1978, en éliminant à son début une nouvelle invasion de l'Afrique de l'Est, de l'Arabie, du Pakistan et de l'Inde;

- en 1983, de nouveau au Pakistan, où une campagne aérienne de grande envergure a détruit une recrudescence saisonnière maieure.

Une invasion arrivée à un stade aussi avancé que l'invasion actuelle est beaucoup plus difficile à réduire et il n'est pas sûr que l'on aurait pu y parvenir sans le concours de circonstances naturelles défavorables au criquet.

### Le rapport coût/performance

Il semble avoir été globalement très modeste. Problèmes de choix des matières actives, des formulations, des matériels d'épandage, de respect des conditions de traitement, de vérification de leur efficacité, de formation du personnel... que nous ne développerons pas plus ici.

#### Les risques

Enfin, des risques considérables pour la faune non cible ont été pris du fait de ces épandages massifs d'insecticides. On peut se demander - très schématiquement - si un peu de dieldrine dans des zones bien ciblées et à un stade précoce du développement de l'invasion n'aurait pas mieux valu que des quantités massives d'insecticides, moins toxiques certes, mais épandues sur des superficies considérables.

#### Les leçons à tirer

Quelles leçons tirer de ce dernier départ d'invasion?

#### La réorganisation du dispositif de lutte préventive

Tout d'abord, la stratégie générale de lutte préventive contre le Criquet pèlerin est globalement bonne. C'est son application pratique sur le terrain qui s'est révélée défectueuse.

Même si l'on tient compte du fait que les premières zones de pullulation étaient difficiles d'accès voire inaccessibles à cause des problèmes de sécurité, il est vraisemblable que si les organisations chargées de surveiller le Criquet pèlerin étaient restées opérationnelles, l'invasion aurait pu être stoppée à un stade précoce.

L'une des premières mesures concrètes à envisager est donc le renforcement du dispositif actuel de lutte préventive.

La lutte préventive contre le Criquet pèlerin exige un dispositif sans faille, exerçant une surveillance soutenue sur l'ensemble des aires critiques.

Si le dispositif existant au Maghreb est à compléter, celui du Sahel est à reconstituer presque entièrement.

Ce renforcement du dispositif de lutte préventive fait actuellement l'objet d'une instruction détaillée par le FIDA et la FAO. Il s'agit en particulier :

- de renforcer le réseau d'observations météorologiques, le réseau actuel étant nettement insuffisant;
- de réorganiser le dispositif actuel de bases de terrain, d'en créer de nouvelles et de mettre finalement en place un dispositif beaucoup mieux ciblé sur les zones à surveiller (fig. 8);
- de financer une large gamme de modules de formation destinés aux différentes catégories de personnels.

Pour les 8 pays de l'aire occidentale du Criquet pèlerin (4 du Maghreb et 4 du Sahel), on prévoit une dépense de 32 millions de dollars sur cinq ans et un coût récurrent de l'ordre de 3,5 millions de dollars par an en régime de croisière.

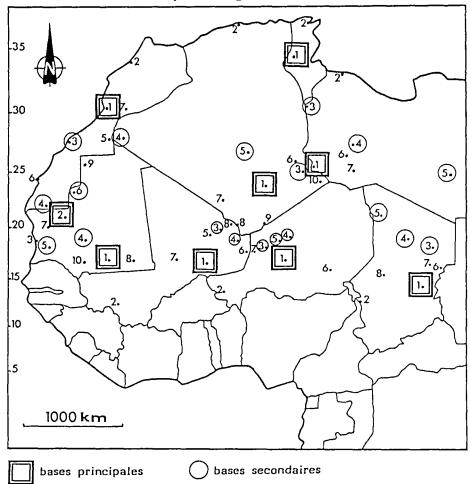


Figure 8. Proposition du PRIFAS pour l'implantation des bases principales et secondaires dans le cadre d'un dispositif renforcé de lutte préventive contre le Criquet pèlerin. [4, 8].

Tchad: 1 Abeche; 2 N'Djamena; 3 Fada; 4 Faya Largeau; 5 Zouar; 6 Iriba; 7 Kalait; 8 Salal.

Mali: 1 Gao; 2 Bamako; 3 Aguelhoc; 4 Tin Éssako; 5 Timetrine; 6 Anoumelen; 7 Tombouctou; 8 Bouressa.

Maroc: 1 Ait Melloul; 2 Rabat; 3 Laayoun; 4 Techle; 5 Mohbes; 6 Dakhla; 7 Tata.

Tunisie: 1 Gafsa; 2 Tunis.

Niger: 1 Agadez; 2 Niamey; 3 In-Abangharit; 4 Iferouane; 5 Arlit; 6 Termit; 7 Alaoua.

Mauritanie: 1 Aioun; 2 Atar; 3 Nouakchott; 4 Tidjikja; 5 Boutilimit; 6 Zouerate; 7 Akjoujt;

8 Nema; 9 Bir Moghrein; 10 Kiffa.

Algérie: 1 Tamanrasset; 2 Alger; 3 Djanet; 4 Tindouf; 5 Arak; 6 Edarene; 7 Bidon V; 8 Tin Zaouaten; 9 In Guezzan; 10 In Ezzane.

Libye: 1 Ghat; 2 Tripoli; 3 Ghadames; 4 Sabha; 5 Kufra; 6 Murzuq; 7 Alkatum.

Ces coûts sont bien sûr à comparer aux 200 ou 300 millions de dollars dépensés pendant deux ans pour lutter contre l'invasion.

Il est probable, qu'en dehors de toute action de recherche, ces dispositions, qui sont simplement techniques et qui consistent en une réorganisation du dispositif actuel, devraient permettre d'assurer largement la prévention des invasions.

Cependant, un certain nombre d'axes de recherche peuvent être dégagés pour accroître l'efficacité de ce dispositif et en alléger le coût.

#### Les recherches d'accompagnement

Les recherches de terrain sur le Criquet pèlerin restent très limitées depuis une vingtaine d'années. Un des problèmes majeurs provient de l'éloignement des régions à étudier et de la nature transitoire des infestations. La récente invasion a cependant relancé l'intérêt pour ce sujet.

Les lignes de recherche prioritaires ont été étudiées en particulier lors de réunions organisées par la FAO à Rome en octobre 1988 et mai 1989, par le PNUD en 1988 à Tucson (USA) et au Caire (Egypte), par l'ICIPE à Nairobi (décembre 1988), par le SPAAR à Paris (janvier 1989) et à Montpellier (mars 1989).

Quelques thèmes de recherches font l'objet d'un consensus. On peut en citer quelques

- Etude de la biologie et de l'écologie du Criquet pèlerin en phase solitaire, sur le terrain, et en particulier étude des rapports entre la météorologie et le comportement du Criquet pèlerin. Les données sont nombreuses en ce qui concerne la phase grégaire; elles sont fort minces pour la phase solitaire. Dynamique des populations, facteurs de mortalité, déterminisme et modalités des déplacements à grande distance... autant de sujets possibles.
- Utilisation des données satellitaires pour la surveillance des conditions écologiques dans les régions grégarigènes et le dépistage précoce des zones potentielles de reproduction où des équipes de prospection au sol devraient être envoyées pour vérifier la situation. Le PRIFAS dispose actuellement à Niamey de deux experts conduisant un projet en ce sens, auprès du centre AGRHYMET, pour étudier les possibilités d'utiliser les données du satellite NOAA pour la surveillance de l'environnement du Criquet pèlerin.
  - Cartographie et caractérisation des principaux habitats du Criquet pèlerin.
- Développement de méthodes de lutte alternatives. Recherche de nouveaux acridicides permettant de remplacer la dieldrine, en particulier dans la technique des traitements en barrières contre les bandes larvaires. De nouveaux produits paraissent prometteurs comme les inhibiteurs de croissance. Certains se sont révélés très efficaces contre les larves du Criquet pèlerin. Leur rémanence sur le terrain reste à vérifier.
- Utilisation de la biomodélisation. Un projet PRIFAS, financé par la CCE et le FAC, vise en la mise au point dès juillet 1990 d'un modèle spécifique quantitatif permettant de repérer tous les dix jours les zones à haut risque de pullulations sur l'ensemble de l'aire d'habitat.

# Perspectives offertes par la biomodélisation

Nous avons vu que l'une des premières mesures à prendre pour la prévention des invasions consiste à réorganiser le dispositif de lutte préventive, à le recentrer sur les zones

dangereuses et à augmenter le nombre et l'efficacité des prospections de terrain. Ce travail de terrain doit demeurer à la base de toute stratégie de lutte préventive.

Cependant, pour des raisons diverses, la surveillance du Criquet pèlerin reste très insuffisante en toutes circonstances. Certains régions sont naturellement difficiles d'accès, d'autres sont interdites pour raisons militaires... Même en période d'invasion où le maximum de personnel est mobilisé il n'est pas rare de découvrir des bandes larvaires plus de trois semaines après qu'elles se soient formées ou de recevoir des essaims dont on ne connaît pas avec certitude le lieu d'origine.

L'une des réponses possibles pour améliorer la qualité de cette surveillance du Criquet pèlerin est d'accroître notre connaissance en temps réel de la dynamique de l'environnement. C'est l'un des thèmes de recherche qui a été évoqué plus haut.

Une autre approche, pour résoudre ce problème posé par la difficulté de surveiller efficacement les populations du Criquet pèlerin en phase solitaire consiste à utiliser les techniques de simulation et de modélisation et à créer un biomodèle spécifique au Criquet pèlerin.

Nous verrons successivement ce qu'est un biomodèle, quels sont les principaux biomodèles acridiens existants et comment l'on peut concevoir un biomodèle dans le cas du Criquet pèlerin.

#### Nature des biomodèles

Un biomodèle part d'une connaissance approfondie des rapports de l'acridien avec tous les types d'environnements qu'il peut rencontrer dans son aire d'habitat.

L'environnement peut bien sûr prendre de nombreuses formes d'expression. Il est décrit en tenant compte des facteurs clés pour l'acridien et l'on essaie de faire en sorte que ces facteurs clés soient exprimés sous une forme telle qu'ils puissent être facilement accessibles et mesurables en de très nombreux points de l'aire d'habitat de l'espèce.

Ces différents facteurs clés peuvent se combiner entre eux pour donner naissance à des types d'environnements. A l'intérieur de l'aire d'habitat de l'espèce seul un nombre limité de types d'environnement pourra être rencontré.

Face à un environnement donné, le Criquet pèlerin va réagir. On pourra observer des modifications dans les vitesses de développement, les taux de survie... que ce soit au niveau des oeufs, des larves ou des imagos. On pourra également observer, chez les imagos, des modifications de l'aptitude à migrer ou de la volonté de se déplacer.

Le centre d'un biomodèle est donc essentiellement une table de correspondance entre les types d'environnements et les réponses caractéristiques de l'espèce. Dans les cas les plus complexes, comme par exemple pour le Criquet pèlerin, on pourra être amené à gérer plusieurs milliers de combinaisons possibles.

Le but final est évidemment, connaissant l'environnement, d'en déduire le comportement de l'insecte, non seulement sur un site donné mais sur l'ensemble de l'aire d'habitat de l'espèce. Un bio-modèle se place d'emblée dans une optique très pragmatique et procède plus par exploitation de l'expérience que par abstraction [5]. Il ne s'agit pas d'analyser dans tous ses détails la dynamique des populations d'une espèce, mais plutôt d'exploiter certaines coïncidences entre dynamique des populations et macro-événements météorologiques. L'abstraction, la formulation mathématique, la finesse d'analyse, la précision sont sacrifiées au profit de la robustesse, de l'exactitude, du caractère opérationnel et de l'applicabilité sur l'ensemble de l'aire d'habitat.

#### Biomodèles développés par le PRIFAS (Tableau III)

Un certain nombre de biomodèles ont été développés depuis une quinzaine d'années et il n'est sans doute pas inutile de les évoquer ici afin de montrer l'évolution des recherches et la logique dans laquelle se situe le biomodèle Criquet pèlerin que nous développons actuellement au PRIFAS.

## Le biomodèle LMI pour le Criquet migrateur malgache

Le premier biomodèle développé concernait le Criquet migrateur malgache. Ce biomodèle a maintenant une quinzaine d'années. C'est le premier de la série et évidemment le plus primitif. Cependant, il a permis de déboucher sur un système opérationnel de surveillance du Criquet migrateur à Madagascar.

Ce biomodèle était basé simplement sur l'étude de la pluviométrie mensuelle et permettait de déduire les risques de pullulations et de grégarisation avec une bonne fiabilité puisque 80% des macro-évènements acridiens pouvaient être prévus.

Ce biomodèle fonctionne sur un pas de temps mensuel et permet en particulier :

- D'apprécier le sens de déplacement des ailés et le degré de synchronisation entre l'évolution du milieu d'une part, le cycle biologique du criquet d'autre part.
- De noter les régions bénéficiant de conditions écologiques optimales pour le Criquet migrateur. On a pu montrer que le maintien de ces conditions optimales sur une même région pendant deux ou trois mois consécutifs favorisait l'apparition de pullulations larvaires et d'essaims.

C'est sur cette constatation que repose le principe du système avertissement qui avait été mis en place à Madagascar dans les années 1970 [6].

Par ailleurs, l'utilisation de ce biomodèle a permis d'effectuer des simulations *a poste*riori sur les évènements passés en utilisant les archives pluviométriques disponibles, archives qui existaient à Madagascar depuis les années 1930. L'utilisation de ces données a permis de reconstituer avec une bonne précision les grands évènements acridiens depuis les années 30 jusqu'à nos jours et de conforter ainsi la fiabilité du système.

Ces mêmes principes de modélisation et de simulation ont été appliqués ensuite en Afrique de l'Ouest au cas du Criquet migrateur africain dans ses aires grégarigènes du delta central du Niger au Mali et du bassin du lac Tchad. Il a permis de reconstituer les grandes lignes de la dynamique des populations de l'espèce dans ces deux zones mais n'a jamais été mis en phase opérationnelle pour diverses raisons. La principale étant que dans ce cas la pluviométrie à elle seule est insuffisante et que l'on doit tenir compte des phéno-

Tableau III. Les biomodèles développés par le PRIFAS.

Densités	Espèces	Zones	Niveau de développement		
1969-1973	Criquet migrateur	Madagascar	Opérationnel		
1974-1975	Criquet migrateur	Afrique	Recherche		
1976-1988	Criquet sénégalais	Afrique de l'ouest	Opérationnel		

mènes de crue et de décrue des zones inondables. La seule méthode est d'utiliser les données de la télédétection spatiale ce qui n'était pas envisageable à l'époque.

#### Le biomodèle OSE pour le Criquet sénégalais

Le troisième type de biomodèle développé par le PRIFAS concerne le principal sauteriau de la zone sahélienne au sud du Sahara: il s'agit de *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877), le Criquet sénégalais, qui a fait parler de lui au cours des années 1974-75 et 1986-87 [7].

Ce biomodèle, développé depuis les années 75-76 est entré en phase opérationnelle depuis maintenant deux ans. Il repose, bien sûr, sur la connaissance précise de l'insecte et de ses réponses face aux divers types d'environnements qu'il peut rencontrer dans son aire d'habitat en Afrique de l'Ouest.

La partie centrale du biomodèle est une table de correspondance entre les types d'environnements significatifs pour le criquet et certains phénomènes clés de sa biologie: natalité, mortalité, vitesses de développement, phénomènes de dispersion. Les facteurs clés de l'environnement pris en compte sont ici, outre la pluviométrie, la photopériode, la température, le bilan hydrique du sol, l'état de la végétation [7].

Ce biomodèle fonctionne sur un pas de temps décadaire et, après avoir été utilisé pendant plusieurs années sous forme manuelle, il en existe maintenant une version informatisée, utilisée depuis deux ans et actuellement en cours d'implantation dans les différents services de protection des végétaux des pays du Sahel ainsi qu'au Centre AGRHYMET de Niamey.

Ce biomodèle permet, tout d'abord, localement et pour une station donnée, de reconstituer la dynamique des populations d'*Oedaleus senegalensis* en temps réel, décade après décade, ou bien d'effectuer des reconstitutions historiques sur des données du passé. Il permet ensuite, à l'échelle de l'ensemble du Sahel ouest africain, de dresser des cartes décadaires des potentialités de développement du criquet. Ces cartes permettent de suivre l'évolution des zones où se situent des risques importants de pullulations (fig. 9).

Le biomodèle est alimenté en données sur l'environnement par différents organismes. L'essentiel des données parvient rapidement, actuellement au PRIFAS-Montpellier, dans un délai de deux jours après la fin de chaque décade. Les traitements informatiques sont effectués immédiatement et les cartes de risques de pullulations transmises par télécopie aux services utilisateurs à J+5 environ. Le biomodèle OSE fournit des déductions ayant un pouvoir résolutif supérieur aux rares informations de terrain disponibles. C'est d'ailleurs l'intérêt de ce genre de modèle que de pouvoir pallier, dans une certaine mesure, au manque de données biologiques.

Les perfectionnements en cours consistent d'abord à rechercher un approvisionnement en données de base plus rapide et plus régulier, ensuite à confronter les déductions du biomodèle avec la réalité afin de l'étalonner plus finement.

Récemment, en mai 1988, un atelier de biomodélisation tenu à Niamey a permis de confronter les déductions du biomodèle avec la réalité. Tous les participants ont estimé que le biomodèle OSE pouvait être considéré comme un outil opérationnel, permettant d'expliquer correctement la situation acridienne, d'en effectuer le suivi et d'aider à l'orientation des prospections au sol.

### Le biomodèle SGR sur le Criquet pèlerin

Les réussites remportées par l'approche biomodélisation, en particulier dans les cas du Criquet migrateur malgache et du Criquet sénégalais nous ont encouragé à développer un

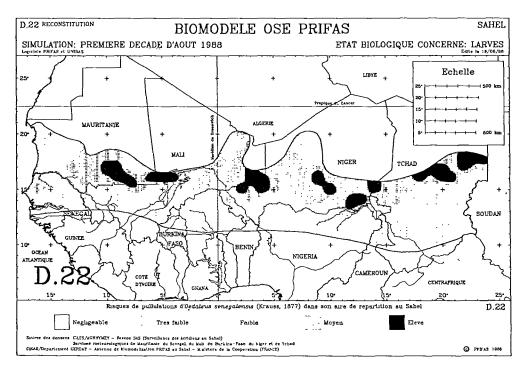


Figure 9. Exemple de carte de risques de pullulations d'Oedaleus senegalensis obtenue à l'aide du bio-modèle OSE [8] (source PRIFAS, 1988).

biomodèle spécifique au Criquet pèlerin. Les travaux ont commencé en 1983 et se poursuivent encore actuellement. La première version opérationnelle devrait être prête pour le milieu de l'année 1990.

Comme pour les autres, l'élaboration du biomodèle Criquet pèlerin a comporté quatre phases:

- une phase de documentation,
- une phase de conception,
- une phase de validation,
- une phase d'exploitation et de perfectionnement.

La phase de documentation a consisté à rassembler un grand nombre de connaissances disponibles sur le Criquet pèlerin, que ces connaissances soient publiées ou non, qu'elles soient scientifiques ou empiriques. Nous avons, en particulier, essayé d'exploiter au mieux l'expérience des hommes de terrain.

La phase de conception a ensuite permis de mettre en évidence les principaux facteurs discriminants de l'environnement du Criquet pèlerin, de hiérarchiser les effets de ces facteurs, de combiner ces facteurs entre eux pour définir des types d'environnements, de faire l'inventaire des réponses possibles de l'acridien face à ces types d'environnements. Deux tables de correspondance types d'environnements/réponses de l'acridien ont été réalisées.

Ces tables de correspondance comportent 216 types d'environnements et 9 types de réponses de l'acridien sont distinguées selon qu'il s'agit d'oeufs, de larves ou d'ailés. L'amplitude des réponses est graduée de 0 a 5, 0 correspondant à une situation d'échec et 5 à une réussite complète. On dispose, par ailleurs, de tables de correspondance pour convertir les indices en valeurs absolues. Il y a une table pour les vitesses de développement, une pour les taux de survie, une pour la fécondité des femelles et enfin une table des probabilités d'émigration ou d'immigration des ailés. Ces tables constituent en quelque sorte le coeur du biomodèle.

Les données de base sur l'environnement sont constituées principalement par la pluviométrie, la température, le bilan hydrique du sol, mais également par les vecteurs de vents à différentes altitudes pour déterminer l'orientation et la distance que les criquets peuvent parcourir en vol.

Comme ce biomodèle est conçu au niveau de l'ensemble de l'aire d'habitat de l'espèce, il a également été nécessaire de réaliser une régionalisation écologique de cette aire d'habitat du Criquet pèlerin. Chaque région de l'aire d'habitat présente en effet des particularités; elles n'offrent pas toutes les mêmes possibilités pour le développement et la reproduction du Criquet pèlerin et l'on doit en tenir compte.

La phase de conception du biomodèle est actuellement en passe d'être terminée. Les programmes informatiques sont en cours de rédaction par une équipe d'informaticiens. La phase de validation devrait commencer sous peu, d'ici la fin de l'année. Pour cela nous collectons actuellement pour la période 1984-1989, l'ensemble des données météorologiques utiles auprès du Centre européen de prévisions météorologiques de Reading, en Grande Bretagne. Ces données devraient permettre de faire fonctionner le modèle pour la période correspondante et d'observer si l'on retrouve les principaux événements acridiens et, en particulier, si le modèle permet de rendre compte du dernier départ d'invasion de 1986/89.

Comme pour le Criquet sénégalais, il n'est pas question d'obtenir d'emblée quelque chose de parfait, mais d'avoir un outil opérationnel que l'on puisse améliorer peu à peu avec l'expérience et par confrontation avec la réalité.

Finalement, la biomodélisation du Criquet pèlerin doit permettre de rassembler dans un cadre cohérent un certain nombre de moyens dont on ne disposait pas il y a seulement quelques années. On peut penser :

- à la micro-informatique;
- à l'amélioration des réseaux de transmission des données qui permet actuellement d'envisager de pouvoir disposer en temps réel des informations météorologiques nécessaires sur une si vaste zone;
- à l'utilisation des informations obtenues par l'imagerie satellitaire qui pourront être intégrées dans le biomodèle et devraient fournir une couverture exhaustive de l'aire d'habitat pour différents paramètres de l'environnement (état de développement de la végétation en particulier).

L'objectif final reste bien sûr d'avoir un outil permettant d'obtenir, régulièrement (d'une manière décadaire) et en temps réel, une vue globale de la situation sur l'ensemble de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin et de localiser les zones à hauts risques de pullulations et les zones à hauts risques de contamination.

Les informations en provenance du terrain sont souvent rares, de valeurs inégales, transmises dans des délais variables, ceci même en période d'invasion. Le nombre et la qualité des signalisations n'ont guère été ameliorées au cours des trois dernières années. De plus, la surveillance au sol ne pourra jamais se faire partout en même temps (à cause

des difficultés d'accés, du manque de moyens ou de motivation, de l'impossibilité de prospecter les zones de conflits). Peut-on lutter contre un ravageur quand on ne sait pas où il est, ce qu'il fait, à quel moment il est vulnérable ?

Devant cette insuffisance de l'information de terrain, on espère que les déductions du biomodèle (disponibles en tout point de l'aire d'habitat avec une résolution du quart de degré carré), ajoutées bien sûr aux renseignements - hétérogènes et fragmentaires - collectés sur le terrain, serviront à orienter les prospections terrestres et à définir une stratégie offensive de lutte préventive. La seule possibilité réaliste et économique pour empêcher le développement d'une invasion consistant à détecter rapidement et à détruire tout regroupement anormal d'individus dès la première génération. Après, le coût des opérations croît exponentiellement et l'efficacité n'est plus garantie [8].

#### Conclusion

Le Criquet pèlerin, ravageur d'importance économique majeure, est un organisme opportuniste, à grands débattements démographiques, capables de s'adapter, à l'état solitaire comme à l'état grégaire, à des situations écologiques variées. Occupant une aire géographique très vaste en régions désertiques et semi-désertiques, il est très difficile à surveiller. La récente invasion des années 1987/88 a mis en évidence à la fois la validité et les faiblesses du dispositif actuel de lutte préventive. Des solutions sont à l'étude : renforcement des infrastructures existantes, recherche de nouveaux moyens de lutte, utilisation des techniques de télédétection spatiale et de biomodélisation pour améliorer la surveillance de

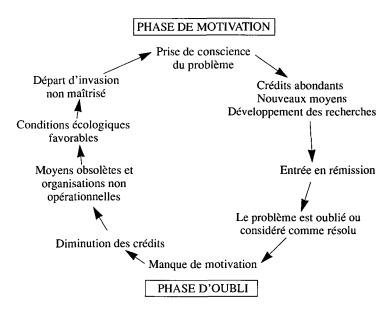


Figure 10. La théorie des phases appliquée, non plus aux criquets, mais aux hommes. Le passage d'une phase à l'autre dépend, bien sûr, de la densité des criquets.

l'environnement de cet acridien et détecter rapidement toute zone potentiellement favorable à des débuts de grégarisation.

Cependant, si en période d'invasion acridienne des financements importants sont disponibles, ils sont quasi entièrement consacrés à l'urgence dans le cadre d'appui logistique : fourniture de pesticides, de matériels d'épandage, de matériel de transport. Très peu de fonds sont utilisés pour la surveillance, la recherche d'accompagnement, la capitalisation des expériences.

Dès que le fléau régresse, les fonds se tarissent. On parle pendant quelques années de projets de recherche, de lutte préventive, de renforcement des structures. Puis le souvenir de l'invasion s'efface, les financements se réduisent en deçà d'un niveau opérationnel, les spécialistes se dispersent, la motivation fléchit (fig. 10). Comment dans ces conditions conserver une structure opérationnelle contre un fléau intermittent? On ne peut que souhaiter que les erreurs commises dans le passé ne se renouvellent pas et que les bonnes résolutions prises actuellement ne restent pas lettres mortes mais permettent l'établissement effectif d'une structure pérenne de lutte préventive contre le Criquet pèlerin, seule assurance de pouvoir contenir à un coût raisonnable tout nouveau départ d'invasion.

#### Références

- 1. Duranton JF, Lecoq M. (1990). Le Criquet pèlerin au Sahel. Collection Acridologie opérationnelle n°6. CILSS-DFPV Niamey; 163 p.
- 2. Lecoq M. (1989). Le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, (Forskål, 1775). Cours de formation en lutte anti-acridienne destiné aux agents de la protection des végétaux de Tunisie. 23 janvier au 4 février 1989. PRIFAS/CIRAD, Montpellier; doc multigr, D.316, 134p.
- 3. COPR. (1981). Desert Locust Forecasting Manual. COPR, London; D. Pedgley (éd) T1: 268p, T2: 142p.
- 4. Duranton JF, Launois M, Launois-Luong MH, Lecoq M, Rachadi T. (1989). La lutte préventive contre le Criquet pèlerin en Afrique. Initiatives à encourager au Sahel et au Maghreb. Contribution du PRIFAS à la réflexion de la Communauté internationale sur le thème de la prévention des invasions généralisées de Criquet pèlerin. PRIFAS/CIRAD, Montpellier; doc multigr: 31p.
- 5. Launois M. (1984). Une approche pragmatique de la modélisation écologique : les biomodèles à géométrie variable. PRIFAS/CIRAD, Montpellier; doc multigr, D.192: 58p.
- 6. F.A.O. (1973). Recherches sur le Criquet migrateur malgache. Rapport sur les résultats, conclusions et recommandations du Projet. AGP: DP/MAG/70/523. FAO, Rome; 73p.
- 7. Launois M. (1978). Modélisation écologique et simulation opérationnelle en acridologie; application à *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877). Ministère de la Coopération et GERDAT, Paris; 214p.
- 8. Launois M. (1989). Le Criquet pèlerin grégaire : une catastrophe naturelle mobile. Journée d'informations sur la prévention des catastrophes naturelles. 16 novembre 1989. Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles (Belgique). PRIFAS/CIRAD, Montpellier; doc multigr, D.353: 10p.

# Bibliographie générale

- 9. COPR. (1978). The Desert Locust Pocket Book. COPR, London; 36p.
- 10. COPR. (1982). The locust and grasshopper agricultural manual. COPR, London; 690p.
- 11. Duranton JF, Launois M, Launois-Luong MH, Lecoq M. (1982). Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. GERDAT et Ministère des Relations Extérieures, Paris ; Tl et T2: 1496p.

#### M. Lecoq

- 12. Duranton JF, Launois M, Launois-Luong MH, Lecoq M, Rachadi T. (1987). Guide anti-acridien du Sahel. Ministère de la Coopération, Paris; 344p.
- 13. FAO. (1975). Manuel du prospecteur. Commission de lutte contre le Criquet pèlerin en Afrique du Nord-Ouest. Rapport N° NWA/DL/SS/2. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome; 69p + 17 p d'annexes.
- 14. Launois-Luong MH, Lecoq M. (1988). Une nouvelle invasion du Criquet pèlerin. AGRITROP, 12(2): 83-96.
- 15. Lecoq M. (1988). Les Criquets du Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle n°1. CILSS-DFPV, Niamey; 130p.
- 16. Lecoq M. (1988). Les biomodèles en acridologie et leurs applications opérationnelles. In meeting on Desert Locust research "Defining future research priorities". Rome, Italie, 18-20 octobre 1988. FAO. Rome: 81-99.
- 17. Lecoq M, Mestre J. (1988). La surveillance des sauteriaux du Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle n°2. CILSS-DFPV, Niamey; 62p.
- 18. Steedman A. (éd), (1988). Locust Handbook. ODNRI, London; 180p.
- 19. Uvarov BP. (1966). Grasshoppers and Locusts. Vol 1. University Press, Cambridge; 481p.
- 20. Uvarov BP. (1977). Grasshoppers and Locusts. Vol 2. University Press, Cambridge; 613p.

## Liste des sigles et abréviations

AGRHYMET Centre Régional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et

Hydrologie Opérationnelle

CCE Commission des Communautés Européennes FAC Fonds d'Aide et de Coopération (France)

FAO Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FIDA Fonds International de Développement Agricole

ICIPE International Centre for Insect Physiology and Ecology

OCLALAV Organisation Commune de Lutte Antiacridienne et de Lutte Antiaviaire

PNUD Programme des Nations Unies pour le Développement SPAAR Spécial Program for African Agricultural Research