

COMITÉ PERMANENT INTER-ÉTATS DE LUTTE  
CONTRE LA SÉCHERESSE DANS LE SAHEL



PERMANENT INTERSTATES COMMITTEE  
FOR DROUGHT CONTROL IN THE SAHEL

**CILSS**

---

## CENTRE REGIONAL AGRHYMET

---

### PROGRAMME MAJEUR INFORMATION

#### Unité Suivi Phytosanitaire

**Approche intégrée des problèmes posés par le Criquet Sénégalais et autres  
sauteriaux ravageurs des cultures au Sahel pour améliorer l'alerte précoce et  
optimiser les stratégies de lutte**

Septembre 1998

---

SECRÉTARIAT EXECUTIF : 03 BP 7049 Ouagadougou 03 BURKINA FASO. Tél. (226) 30 67 58/59 Fax : (226) 30 67 57 Email : CILSS@fasonet.bf  
Tél : 5263 COMITER

CENTRE RÉGIONAL AGRHYMET : BP 11011 Niamey, NIGER. Tél (227) 73 31 16 / 73 24 35 Fax : (227) 73 24 36 Email : admin@sahel.agrhymet.ne  
Site Web : [www.agrhymet.ne](http://www.agrhymet.ne) Tél : 5448 NI

INSTITUT DU SAHEL : BP 1530 Bamako, MALI. Tél : (227) 22 21 48 / 23 02 37 Fax : (223) 22 23 37 / 22 59 80 Email : ceesay@insahdir.insah.ml

Approche intégrée des problèmes posés par le Criquet Sénégalais et autres sautériaux ravageurs des cultures au Sahel pour améliorer l'alerte précoce et optimiser les stratégies de lutte

Une proposition de projet du CILSS-AGRHYMET en partenariat avec le CIRAD (Prifas)

Une valorisation du potentiel d'AGRHYMET pour les applications phytosanitaires

Au Sahel, l'une des contraintes à l'augmentation des productions vivrières est constituée par les pertes causées par différents nuisibles aux cultures. Parmi ces nuisibles, le groupe des acridiens en général et celui des sautériaux en particulier est l'un des plus constants et des plus dommageables. Dans le domaine de la lutte contre ces ravageurs, rien ne peut être entrepris sur des bases raisonnables s'il n'existe pas une veille acridienne permanente, c'est-à-dire un dispositif permettant d'évaluer globalement les risques, à intervalles de temps réguliers et d'intervenir seulement lorsque la situation l'exige.

Une telle veille est donc appelée à contribuer à la réduction ou à la suppression des épandages systématiques de pesticides et à minimiser les pertes occasionnées par ces ravageurs. Ce faisant, elle représenterait un élément important à la fois dans la stratégie de lutte intégrée et dans celle de sécurité alimentaire des pays membres du CILSS.

Le Centre Régional CILSS-AGRHYMET de Niamey dispose de toutes les compétences et moyens techniques pour réaliser une telle veille. Son projet DFPV lui assure de plus tous les moyens pour assurer les actions de recherche complémentaires et de formation nécessaires. Le CIRAD (Prifas) dispose de son côté d'une longue expérience dans le domaine de la biologie et de l'écologie des acridiens du Sahel et de la modélisation des phénomènes biologiques à l'échelle de la région.

L'étude qui est proposée dans les pages qui suivent est une activité du Programme Majeur Information. Elle est conçue comme un développement méthodologique pour venir en appui à l'activité " Suivi opérationnel " de l'Unité Suivi Phytosanitaire.

Les activités de recherche complémentaire qui y sont contenues visent à consolider les acquis et sont essentiellement orientées vers le développement.

## TABLE DES MATIERES

### FICHE DE SYNTHÈSE

<b>1. ORIGINE DU PROJET.....</b>	<b>4</b>
<b>2. LE CONTEXTE DU PROJET .....</b>	<b>4</b>
<b>3. LES OBJECTIFS DU PROJET .....</b>	<b>5</b>
3.1 OBJECTIFS GÉNÉRAUX .....	5
3.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES .....	5
<b>4. RAPPEL SUR LES CONNAISSANCES DISPONIBLES ET LES TRAVAUX ANTERIEURS .....</b>	<b>6</b>
4.1 LE CRIQUET SÉNÉGALAIS ET AUTRES SAUTÉRIUX RAVAGEURS .....	6
4.2 LES TRAVAUX ANTERIEURS POUR AMÉLIORER L'ALERTE PRÉCOCE ET LE SUIVI DE CAMPAGNE.....	7
4.2.1 L'expérience OSE 4 .....	7
4.2.2 Les acquis de la télédétection en matière de suivi acridien.....	8
4.3 LES TRAVAUX EXISTANTS SUR L'AMÉLIORATION DES DÉCISIONS DE TRAITEMENTS .....	9
4.4 NOUVEAUX OUTILS DE SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT SAHÉLIEN UTILISABLES POUR LE PROBLÈME ACRIDIEN .....	10
<b>5. CONTENU DU PROJET .....</b>	<b>11</b>
5.1 CADRE DE L'ÉTUDE.....	11
5.1.1 <i>Objet</i> .....	11
5.1.2 <i>Région</i> .....	11
5.1.3 <i>Période</i> .....	11
5.2 LES MODULES D'ACTIVITÉS .....	11
5.2.1 <i>Etablissement d'une base de données géoréférencées sur les acridiens ravageurs et leur environnement</i> .....	12
5.2.2 <i>Etude bio-écologique des acridiens (travail de terrain)</i> .....	13
5.2.3 <i>Utilisation raisonnée des pesticides</i> .....	14
5.2.4 <i>Formation, vulgarisation, transfert de compétences</i> .....	15
.....	16
<b>6. PRODUITS ATTENDUS A L'ISSUE DU PROJET .....</b>	<b>15</b>
<b>7. REPARTITION DES TACHES.....</b>	<b>16</b>
<b>8. PLANNING PREVISIONNEL.....</b>	<b>17</b>
<b>9. MOYENS NÉCESSAIRES.....</b>	<b>17</b>
<b>10. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>11. LISTE DES SIGLES.....</b>	<b>22</b>

### FICHE DE SYNTHÈSE

## **Contexte**

Depuis les années soixante-dix, les sautériaux, et en particulier le Criquet sénégalais, constituent une menace chronique pour les cultures vivrières du Sahel. Les insecticides nécessaires aux opérations de lutte antiacridienne représentent une part importante des budgets consacrés à la protection des cultures. De plus, bien que mal quantifié, l'impact de ces insecticides sur la faune non-cible et l'environnement en général est indéniable et sa gravité est en relation avec les quantités de produits déversées. Pour des raisons économiques et écologiques il faudrait donc optimiser l'utilisation des insecticides dans l'espoir de réduire significativement le volume de produits épandus

Au Niger, une étude réalisée en 1991 a montré que les coûts de la protection des végétaux sont financés à concurrence de 82% par les donateurs (6% par l'Etat, 2% par les collectivités et 10% par les producteurs). Si le désengagement de l'état est souhaité sur les cultures à caractère commercial au profit du secteur privé ou des collectivités locales, il semble bien que l'état doive conserver un rôle de sécurité contre les grands fléaux, dont le Criquet pèlerin et les sautériaux.

## **Objectifs**

Construction d'un outil d'aide à la compréhension et à la décision en matière de lutte contre les sautériaux (outil multi-critères simple transférables aux composantes nationales) à partir d'une base de données géoréférencées (SIG) spécifiques aux criquets ravageurs du Sahel et à leur environnement et des résultats de travaux de recherche de terrain complémentaires en bio-écologie des acridiens et en économie des cultures attaquées

## **Contenu**

Construction d'un système d'informations géographiques relatives aux sautériaux ravageurs du Sahel : inventaire, mise en forme et analyse des données environnementales et acridiennes susceptibles d'intervenir dans la compréhension et le suivi des pullulations de sautériaux ravageurs.

Inventaire et renforcement des connaissances (travaux de terrain) sur les points clés de la dynamique des populations ayant une incidence majeure sur les effectifs et sur les infestations (facteurs de mortalité pour les oeufs diapausants, déplacement des populations d'imagos, accroissement des effectifs au cours des générations successives de saison des pluies).

Evaluation de l'importance économique des sautériaux : enquêtes socio-économiques et expérimentations en champs pour évaluer l'importance réelle des pertes de récoltes dues aux sautériaux et analyse économique du coût des opérations de lutte préventive et curative.

Analyse des archives des DPV burkinabé, nigérienne et malienne pour collecter les informations pertinentes sur les opérations de traitements antiacridiens et les signalisations acridiennes.

## **Réalisation des différents volets du projet :**

Partenaires principaux:

- CILSS/ AGRHYMET et CILSS/AGRHYMET/ DFPV (Niger)
- CIRAD-AMIS - Protection des cultures (Prifas)

- Services de protection des végétaux du Niger, du Burkina Faso et du Mali

Durée : 3 ans

Moyens humains à mobiliser : 3 cadres , 36 à 42 mois/h d'expatriation au Niger (CILSS-AGRHYMET) et 20 mois/h d'expertises diverses, techniciens nationaux, personnel d'appui temporaire.

Financement envisagés : Fonds régionaux de la CE (DG VIII) et Ministère français de la Coopération

Projet OSE      Version du 29/09/98

**Estimation financière : 834 992 000 F CFA**

## 1. ORIGINE DU PROJET

Depuis 1992 le Centre AGRHYMET a intégré dans ses activités le suivi phytosanitaire avec l'appui de la Coopération française. L'une des tâches assignées à l'Unité créée à cet effet est de contribuer à la mise au point d'outils de dépistage et de prévision en exploitant les données biologiques, météorologiques et satellitales.

Pour ce faire, le Centre AGRHYMET a recherché des collaborations avec les institutions spécialisées nationales, régionales et internationales. Dans le cadre de cette recherche de collaboration il a participé en mai 1996 à un atelier de travail tenu à Montpellier (France) grâce à un appui financier de la Commission européenne. Cet atelier a réuni en plus du Centre AGRHYMET, des représentants des services de protection des végétaux de six pays du Sahel, ceux de trois autres organisations africaines régionales ayant des activités en rapport avec les acridiens (OCLALAV, CBLT, Institut du Sahel/UCTR/PV ) et du PRIFAS (Launois-Luong et Launois, 1997). Une des recommandations de cet atelier concerne la poursuite des travaux sur la mise au point d'un outil d'alerte précoce des pullulations de sautériaux et tout spécialement du criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis*, l'un des principaux ravageurs des cultures au Sahel.

Le présent projet, qui cadre parfaitement avec l'orientation du Centre AGRHYMET en matière de contrôle des nuisibles, appuiera l'Unité Phytosanitaire et constituera une première mise en application de cette recommandation.

Il propose des mesures pour améliorer significativement et durablement l'efficacité de la lutte contre les sautériaux grâce à la mise au point d'un outil de suivi de la situation acridienne devant améliorer l'alerte précoce et le développement d'indicateurs performants pour la prise de décisions de traitements plus efficaces.

## 2. LE CONTEXTE DU PROJET

Si le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, représente potentiellement une importante menace pour les pays du Sahel, depuis les années soixante-dix, les sautériaux et en particulier le Criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis*, constituent une menace chronique pour les cultures vivrières du Sahel.

La levée des semences, l'épiaison et la maturation des grains sont les stades de développement du mil les plus menacés par les attaques de sautériaux. La prise de conscience de l'importance des sautériaux sur l'agriculture vivrière du Sahel date des importantes pullulations des années 1973 et 1974. A l'époque, on a estimé les pertes à environ 300 000 tonnes de céréales.

Bien que le problème soit d'importance variable selon les pays et les années, les opérations de lutte contre les sautériaux ont, par exemple, couvert dans l'ensemble des pays du Sahel 3 300 000 hectares en 1986, 3 500 000 ha en 1989 ou 1 000 600 hectares en 1991 (source OCLALAV) en quatre à six mois de campagne agricole.

En 7 ans (1986-1992), la lutte contre les sautériaux aurait coûté 177 millions de dollars EU (contre seulement 143 millions de dollars pour le Criquet pèlerin). Globalement, au cours des vingt dernières années, la lutte contre ces insectes a constitué l'activité principale des services nationaux de protection des végétaux.

Une récente enquête (Stonehouse et al 1997) auprès d'un vaste échantillon d'agriculteurs sahéliens du Niger, du Mali et du Bénin montre que le problème sautériaux est considéré comme très grave en particulier dans les zones envahies par le Criquet sénégalais. Les



insecticides y sont perçus comme le seul moyen efficace de lutte mais qui n'est utilisable qu'avec l'aide de fonds publics.

Des perspectives intéressantes en lutte biologique sont apparues ces dernières années avec la sélection et la mise au point de techniques de production de champignons pathogènes pour les criquets mais la lutte chimique reste encore et pour longtemps le seul moyen réaliste de contrôle des infestations, surtout en cas d'urgence.

Les services de protection des végétaux responsables au niveau national de la lutte contre les sautériaux sont confrontés à plusieurs problèmes, parmi lesquels figure la nécessité de s'assurer de l'efficacité maximum de la lutte chimique antiacridienne et de limiter les conséquences de ces épandages d'insecticides pour l'environnement. Ces préoccupations sont partagées par les partenaires étrangers qui assurent une large part du financement des campagnes de lutte.

Les insecticides nécessaires aux opérations de lutte antiacridienne représentent en particulier une part importante des budgets consacrés à la protection des cultures par les pays eux-mêmes et par l'aide étrangère. De plus, bien que mal quantifié, l'impact de ces insecticides sur la faune non-cible et l'environnement en général est indéniable et sa gravité est en relation avec les quantités de produits déversées. Il est donc souhaitable pour des raisons économiques et écologiques d'optimiser l'utilisation des insecticides dans l'espoir de réduire significativement le volume total de produits épandus tout en contribuant à la sécurité alimentaire de ces pays. Les efforts de coopération pour la lutte contre les criquets ne peuvent se limiter aux aspects strictement opérationnels et curatifs mais ils devraient inclure des activités de recherche d'accompagnement pour améliorer la maîtrise des problèmes acridiens et aboutir à l'établissement d'un véritable système d'avertissement et de gestion plus raisonnée des moyens.

A cette fin, l'agrométéorologie, la télédétection, les systèmes d'information géographiques et les systèmes experts complétés par des recherches biologiques de terrain offrent maintenant des perspectives nouvelles qui doivent pouvoir être mises en oeuvre au Sahel.

### **3. LES OBJECTIFS DU PROJET**

#### **3.1. Objectifs généraux**

Il s'agit de pouvoir :

- mieux suivre l'évolution des phénomènes acridiens au cours de la campagne agricole;
- améliorer significativement l'alerte précoce;
- décider en meilleure connaissance de causes, les opérations de lutte, améliorer leur efficacité et leur rentabilité.

#### **3.2. Objectifs spécifiques**

Ils consistent à :

- identifier et comprendre plus précisément les facteurs impliqués dans le développement des infestations de Criquets sénégalais et autres sautériaux ravageurs;
- compléter par des travaux de recherche de terrain les connaissances sur la bio-écologie des acridiens et sur l'économie des cultures attaquées;

- analyser les types de situations auxquelles sont confrontés les opérateurs de la lutte antiacridienne et identifier les solutions les plus efficaces ;
- construire un outil d'aide à la décision en matière de lutte contre les sautériaux à partir d'une base de données géoréférencées spécifiques aux criquets ravageurs du Sahel et à leur environnement.

Cet outil devrait permettre de mieux suivre en temps réel la situation acridienne et contribuer à l'alerte précoce. Il devrait permettre de juger de l'opportunité et de la rentabilité économique, écologique et sociale des opérations de traitement.

#### **4. RAPPEL SUR LES CONNAISSANCES DISPONIBLES ET LES TRAVAUX ANTERIEURS**

##### **4.1. Le Criquet sénégalais et autres sautériaux ravageurs**

Le Criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis* Krauss a une biologie et une écologie relativement bien connues. Il a fait l'objet de divers travaux dans plusieurs pays du Sahel. Citons en particulier: Amatobi, 1983 au Nigéria; Lecoq, 1978, au Burkina Faso; Cheke, 1990 au Mali et au Niger; Jago, 1983, au Mali; Launois, 1978, au Niger; Saraiva, 1962, aux Iles du Cap Vert; Fishpool 1982, au Niger; Diop 1987, au Sénégal. Cette espèce présente une large aire de distribution et des recherches ont également été conduites dans d'autres régions: Bathia et al, 1962, par exemple, en Inde.

Les larves et les adultes de criquets sénégalais se nourrissent essentiellement de graminées sauvages et cultivées (Boys, 1978; Launois-Luong, 1980). Les principaux dégâts s'observent sur les cultures de graminées vivrières du Sahel, mil et sorgho, soit sur les semis, soit sur les épis.

Le Criquet sénégalais est une espèce qui développe en moyenne 3 générations par an au cours de la saison des pluies au Sahel et qui survit en saison sèche sous la forme d'oeufs en diapause dans le sol. Le développement larvaire dure environ 2 à 3 semaines. Les imagos (criquets adultes) commencent à pondre une semaine environ après la mue imaginale (dernière mue avant l'émergence des jeunes adultes). Les oeufs sont déposés de préférence dans des sols sableux humides. Le choix des sites de ponte ainsi que le développement embryonnaire ont fait l'objet de divers travaux (Amatobi, 1985; Diop, 1995; Popov, 1980, 1987; Venkatesh et al, 1971). Les deux premières générations (G1 et G2) se développent en continu. En fin d'hivernage, les oeufs déposés dans le sol par la dernière génération entrent en diapause, passent la saison sèche dans le sol avant d'éclore au début de la saison des pluies suivante. La photopériode est le facteur déterminant la production d'oeufs diapausants tandis qu'une pluie utile de plus de 20mm environ induit les premières éclosions en début de saison des pluies, coïncidant parfaitement avec la levée des premiers semis de céréales susceptibles ainsi d'être consommés par les larves.

L'une des caractéristiques importantes de cet insecte (comme d'ailleurs pour la plupart des autres acridiens ravageurs du Sahel) est la capacité de migration nocturne des imagos qui, tout au long de la saison des pluies, peuvent se déplacer pour se maintenir dans les zones les plus favorables à la reproduction. Les facteurs sol, pluviométrie et état de la végétation jouent un rôle clé dans la détermination des zones favorables. C'est ainsi que d'une manière schématique on peut dire qu'en première partie d'hivernage, à mesure de l'avance des pluies et du front intertropical (FIT) vers le nord, les imagos abandonnent les zones méridionales devenues trop humides et colonisent progressivement des milieux de plus en plus septentrionaux. En fin de saison des pluies, la dessiccation de la végétation de ces



zones et le recul du FIT vers le sud provoquent un mouvement migratoire généralement rapide et massif vers le sud. (Launois, 1978; Lecoq, 1978). L'existence de ces phénomènes migratoires, souvent très spectaculaires et de grande amplitude à la fin de la saison des pluies, fait du problème sautériaux un problème régional. Les populations d'un pays peuvent rapidement venir contaminer le pays voisin. C'est aussi à cette période, coïncidant généralement avec le stade épiaison et maturation des cultures céréalières, que les dégâts les plus importants dus à ce sautériaux sont observés.

Les facteurs clés de l'écologie de ces insectes sont donc connus : photopériode, température, pluviométrie, type et humidité des sols, état de la végétation, direction et force du vent, position du FIT. De tous ces facteurs, la pluviométrie, par sa grande variabilité inter-annuelle, joue très certainement un rôle majeur dans le déterminisme des pullulations. D'autres facteurs doivent entrer en ligne de compte, et en particulier la mortalité embryonnaire en saison sèche qui explique, sans doute, les variations d'importance du niveau des populations acridiennes entre la fin d'une saison des pluies et le début de la saison suivante.

*Oedaleus senegalensis*, n'est pas le seul sautériaux ravageur régulier des cultures sahéliennes. On peut également citer : *Pyrgomorpha cognata* (Krauss, 1877), *Hieroglyphus daganensis* Krauss, 1877, *Diaboloecatanops axillaris* (Thunberg, 1815), *Kraussaria angulifera* (Krauss, 1877), *Ornithacris cavroisi* (Finot, 1907), *Aiolopus simulatrix* (Walker, 1870) pour ne mentionner que les principaux. Chaque espèce présente son propre cycle biologique (reproduction continue ou arrêt de développement à l'état imaginal ou embryonnaire pendant la saison sèche; nombre de générations variant de 1 à 4) et ses propres préférences écologiques. Cependant, pour toutes ces espèces, le facteur pluviométrie de par son irrégularité, est très certainement le facteur clé permettant d'expliquer, en grande partie, la variabilité inter-annuelle du niveau des populations..

Le problème est donc de savoir si l'on peut, par un meilleur suivi de campagne, prévoir les risques acridiens. Il s'agit en particulier de localiser rapidement les zones à fortes probabilité de pullulation en début de saison des pluies, d'identifier les facteurs favorables à l'accroissement des populations en cours de saison, de détecter en fin de saison des pluies les zones de concentration d'adultes et donc de pontes. Il conviendrait également de mieux localiser les zones de cultures les plus exposées en fonction de leur espérance de récolte (telle qu'elle peut être prévue actuellement par différents modèles).

#### **4.2. Les travaux antérieurs pour améliorer l'alerte précoce et le suivi de campagne**

Parmi différentes initiatives destinées à améliorer l'alerte précoce et le suivi de la campagne acridienne au Sahel, il convient de mentionner tout spécialement l'expérience du biomodèle OSE 4 conduite par le CIRAD (Prifas) sur financement de la Coopération française ainsi que diverses tentatives d'utilisation de l'imagerie satellitale.

##### **4.2.1. L'expérience OSE 4**

La synthèse des connaissances acquises, dans les années 80, sur le criquet sénégalais a permis à l'équipe CIRAD (Prifas) de construire un modèle de la dynamique des populations de cette espèce : le biomodèle OSE IV. Cet outil a été mis à disposition du centre AGRHYMET et de six pays sahéliens en 1990, sur un support PC. Il tentait de répondre en partie aux préoccupations des services de protection des végétaux en identifiant tous les 10 jours, sur la base des connaissances disponibles, les zones à risque d'infestation de criquets sénégalais, devant ainsi contribuer à l'anticipation des phénomènes et à une meilleure

organisation de la lutte. Ce modèle utilisait les données décennales pluviométriques, thermiques et d'évapotranspiration potentielle sur l'ensemble du Sahel (données des pays du CILSS) pour fournir, à chaque décennie :

- une visualisation des zones à risque de pullulation des oeufs, des larves et des ailés avec des indices de gravité semi-quantitatifs;
- une évolution locale de ces risques;
- une reconstitution quotidienne de la dynamique des populations.

Il prétendait également apporter une aide à la localisation des champs de ponte en fin de saison des pluies et à la prévision des déplacements d'ailés.

A l'usage, plusieurs insuffisances sont apparues dans ce modèle. Elles concernent tout spécialement la qualité des données pluviométriques nécessaires. La densité du réseau des stations au sol était insuffisante et les données fournies trop irrégulièrement. La précision des cartes pluviométriques utilisées dans le modèle était de ce fait souvent limitée. De plus, les biotopes acridiens n'étaient pas pris en compte, en particulier les types de sols. Enfin, sur un plan pratique, il semblerait que l'on ait transféré trop tôt auprès des services nationaux un outil d'utilisation souvent complexe et d'ergonomie trop peu conviviale.

#### **4.2.2 Les acquis de la télédétection en matière de suivi acridien**

Les applications de la télédétection pour l'évaluation du risque acridien sont relativement récentes. Elle concerne principalement le Criquet pèlerin.

Certaines études cherchent à cartographier les biotopes acridiens et utilisent les données haute résolution type LANDSAT ou SPOT (Voss, 1993, pour la cartographie de certains biotopes du Criquet pèlerin en Mauritanie au Mali et en Erythrée, ainsi que du Criquet migrateur à Madagascar). La haute résolution a également été utilisée en Australie pour localiser les zones de concentration du Criquet australien, *Chortoicetes terminifera* (Bryceson, 1989).

D'autres études cherchent une vision dynamique de l'évolution des biotopes et essaient de détecter précocement l'apparition de conditions écologiques favorables à l'insecte. Ces études reposent sur l'utilisation de données à basse résolution mais à haute répétitivité du type NOAA/AVHRR. Tucker et al (1985), Hielkema et al (1981) ont montré que la télédétection peut être utilisée pour évaluer les conditions écologiques prévalantes dans les aires de reproduction du Criquet pèlerin. Le principe est basé sur la détection dans un ensemble désertique de zones vertes significatives pour le maintien et le développement de l'insecte. La résolution des données NOAA est un obstacle certain dans des zones à faible couverture végétale et où les biotopes favorables sont souvent de faible étendue. Cependant, les derniers développements montrent qu'il est certainement possible à brève échéance d'aboutir, grâce à ces données NOAA, à un outil opérationnel pour la détection et le suivi en temps réel des biotopes favorables au Criquet pèlerin (Projet RAMSES réalisé en Erythrée; FAO, 1997).

A la différence du Criquet pèlerin qui, en période de rémission évolue essentiellement dans des zones désertiques, le Criquet sénégalais évolue, en Afrique de l'Ouest, dans les zones de cultures et pâturages sahéliens, entre 10° et 18° de latitude nord, du Sénégal au Soudan et au delà. Dans cette zone les biotopes potentiellement favorables, situés sur sols sableux, sont exploités ou non en fonction des conditions pluviométriques qui les rendent plus ou moins favorables (optimums, trop humides ou trop secs). Comme nous l'avons vu plus haut, la physionomie de la saison des pluies, détermine la localisation spatiale des milieux

favorables et leur évolution dans l'espace et le temps ainsi que les mouvements migratoires des insectes entre ces différentes zones. Le repérage de ces milieux propices reste délicat. Il peut être fondé sur l'utilisation des données pluviométriques ou sur celle d'indices de végétation.

L'utilisation de la télédétection pour la localisation des zones à sautériaux a déjà donné des résultats encourageants. Au Sénégal, en confrontant les données tirées des cartes d'indices de végétation normalisé (NDVI) et celles obtenues sur le terrain de mai à août, il a été observé des corrélations positives entre l'émergence de la végétation herbacée, la présence de sautériaux de différentes espèces et les valeurs NDVI comprises entre 0,08 et 0,13 (Cavin, Philips, 1987 cités par Tappan 1991). Un travail préliminaire réalisé au Centre AGRHYMET en 1991 (Berges et al, 1991) et utilisant des données NOAA (indice de végétation et température radiative) et les densités du Criquet sénégalais a permis de définir des seuils en dessous desquels les effectifs de l'insecte sont faibles. **Plus récemment P.J.A. Burt et al (1995) suggèrent que les données du canal infra rouge de Meteosat peuvent être utilisées comme outil d'aide à la décision ainsi que pour prévoir les pullulations au Sahel avec 2 ou 3 semaines d'avance. Ces résultats montrent que l'utilisation des données satellitales et/ou météorologiques pourrait déboucher sur la mise au point de méthodes permettant la localisation rapide des zones favorables au Criquet sénégalais et donc des zones à risque.**

#### **4.3. Les travaux existants sur l'amélioration des décisions de traitements**

Une fois localisées les zones à risque acridiens, les décisions de traitement sont essentiellement fondées sur des critères tenant compte de la densité des acridiens et de l'état des cultures infestées. Depuis plusieurs années, les opérateurs de la lutte à divers niveaux sont conscients de la nécessité d'affiner et de compléter ces critères pour une plus grande efficacité des efforts de lutte.

Dans une optique d'évaluation de la rentabilité des opérations phytosanitaires, des travaux ont ainsi été entrepris dans le domaine de l'estimation des dégâts des ravageurs dans les cultures céréalières sahéniennes ou dans celui du coût des opérations de lutte.

Un suivi des dégâts au cours de plusieurs campagnes a par exemple été réalisé au Niger (KOGO S.A. et KRALL S. 1997). Des travaux plus ponctuels ont été aussi menés au Mali (COOP & CROFT 1993). Les données disponibles restent toutefois assez disparates et très rarement reliées à des informations précises sur les densités et la durée de présence d'une ou de plusieurs espèces acridiennes identifiées. Il est donc difficile actuellement d'utiliser un indice de dégât potentiel liée à une densité acridienne donnée pour décider de l'opportunité d'un traitement chimique. Par contre, plusieurs méthodes de quantification des dégâts ont été testées sur le terrain et sont utilisables en fonction des circonstances et des besoins (Jago 1993).

De même, les coûts des opérations de lutte sont régulièrement évaluées de façon globale au niveau des services nationaux de lutte dans le cadre de leur suivi budgétaire. Il est par contre très difficile d'obtenir dans le cas des sautériaux une estimation du coût à l'hectare traité lors de divers types d'interventions contre les sautériaux, depuis l'intervention ponctuelle et localisée des équipes villageoises à celle d'un avion sur de vastes superficies. Pour ce faire il faudrait analyser plus en détail les dépenses des PV mais aussi établir une typologie relativement précise des interventions ( de Visscher et al, 1995).

Un outil de décision doit permettre, dans l'idéal, d'évaluer le rapport coût/bénéfice des opérations de traitement. Outre le problème du manque de données de bases, les quelques

travaux entrepris dans ce domaine, notamment dans le cas du Criquet pèlerin (Wright 1989), se sont heurtés à la complexité du problème car les pertes de récoltes vivrières au Sahel ne peuvent pas se mesurer uniquement en termes monétaires. Les implications politiques et sociologiques sont également importantes. L'irrégularité de distribution des attaques acridiennes dans un contexte de production villageoise très diversifié dans l'espace et d'une année à l'autre ne facilitent pas non plus le travail.

#### **4.4. Nouveaux outils de suivi de l'environnement sahélien utilisables pour le problème acridien**

Les progrès accomplis et les travaux en cours dans le domaine du suivi de certains paramètres de l'environnement et des cultures au Sahel - tels que la pluviométrie, les vents, la température, la couverture végétale, le diagnostic hydrique des cultures lié à des modèles de prévision de récolte permettent d'espérer de mieux comprendre, analyser et prévoir les facteurs externes de développement des populations de sautériaux ravageurs. Le développement d'instruments puissants de gestion de données spatiales tels que les Systèmes d'information géographique (SIG) est un atout de plus pour analyser des situations complexes et y réagir plus efficacement.

Ces outils permettant un meilleur suivi de l'environnement sahélien sont disponibles au niveau du Centre AGRHYMET :

- Le Centre AGRHYMET dispose de stations de réception et de chaînes de prétraitement des images METEOSAT et NOAA.
- Tous les 10 jours, une spatialisation des pluies par satellite est effectuée sur l'ensemble des pays du CILSS à partir des données pluviométriques réelles que les composantes nationales AGRHYMET (CNA) envoient au Centre par des moyens de télécommunication appropriés, et des synthèses d'images infrarouges METEOSAT. Ces images sont archivées depuis 1989.
- Depuis 1988, les données d'indice de végétation sont produites également à la fin de chaque décade à partir des images LAC (Low Area Coverage) fournies actuellement par les satellites NOAA 12 et NOAA 14.
- Différents logiciels SIG (Atlas GIS et ARC INFO) et de traitement d'images (IDRISI et ERDAS IMAGINE) sont régulièrement utilisés pour l'analyse des données.
- Dans le domaine de la prévision des récoltes, le Centre AGRHYMET dispose d'un outil de simulation du bilan hydrique, le modèle DHC ou Diagnostic Hydrique des Cultures qui est basé sur le modèle du bilan hydrique BIP4 mis au point par l'IRAT. La version actuelle appelée DHC-CP, permet d'intégrer les champs pluviométriques METEOSAT, de prendre en compte les facteurs du milieu (carte des sols, cartes d'utilisation agricole des sols) et finalement de calculer les indices de rendement espéré dès fin août.

### **5. CONTENU DU PROJET**

#### **5.1. Cadre de l'étude**

##### **5.1.1. Objet**

Étant donné l'importance phytosanitaire de l'espèce et le nombre relativement élevé de données sur sa bio-écologie, le projet s'attachera en priorité aux problèmes posés par le



Criquet sénégalais (*Oedaleus senegalensis*). Il s'agira en particulier pour cette espèce de combler les lacunes concernant sa biologie en acquérant des connaissances précises sur les déplacements, l'aspect quantitatif des facteurs de mortalité, les relations entre pertes de récolte et niveaux de populations.

### 5.1.2 Région

Le projet concerne tous les pays du CILSS et intéressera essentiellement l'aire de distribution du Criquet sénégalais et autres sautériaux en zone sahélienne de ces pays à savoir les zones de cultures et de pâturages. Pour des raisons d'efficacité du travail de recherche (proximité géographique, importance et régularité des infestations, existence d'archives aisément disponibles...), les régions concernées du Niger serviront de zones pilotes au cours de l'étude. Cependant, un appui sera apporté aux autres pays du CILSS pour leur permettre de faire régulièrement les prospections et collecter des données pour les besoins du projet.

### 5.1.3 Période

Le projet est prévu pour une période de trois ans. Le travail comportera des recherches de terrain conduites pendant toute la durée du projet et une analyse des données d'archives des années 1990 pour lesquelles on dispose d'un volume d'informations accessibles pour les paramètres concernés.

## 5.2 Les modules d'activités

Les activités du projet peuvent être déclinées sous la forme de différents modules faisant correspondre une méthode à des objectifs. Bien que tous soient indispensables et indissociables pour atteindre les objectifs du projet, ils ne doivent pas nécessairement être réalisés simultanément. Dans ce cas toutefois la durée totale du projet dépassera les trois ans.

### 5.2.1 Etablissement d'une base de données sur les acridiens ravageurs et leur environnement.

Les résultats des études bio-écologiques sur le Criquet sénégalais ainsi que l'expérience acquise au cours de nombreuses campagnes de lutte permettent d'établir une liste de paramètres de l'environnement susceptibles d'intervenir dans la compréhension et le suivi des pullulations de Criquets sénégalais et autres sautériaux ravageurs importants.

Une première étape du travail consiste à définir le contenu de la base de données et les liens entre ses différentes composantes en fonction des objectifs du projet. Un modèle conceptuel des données sera élaboré à cet effet.

Une seconde étape sera l'inventaire et l'analyse des données environnementales et acridiennes géoréférencées (nature, précision, fréquence) disponibles.

Les données utiles collectées et traitées seront ensuite numérisées et mises en forme de façon à pouvoir être prise en compte dans un SIG orienté vers la compréhension et l'évaluation des phénomènes acridiens (classe de valeurs, périodicité, précision, origines, support, délai d'obtention, ...).

Un grand nombre de données cartographiques est déjà concentré au Centre AGRHYMET tels que les limites administratives, le réseau hydrographique, les cartes des sols, les cartes

d'occupation du sol, l'atlas pastoral...Les données complémentaires seront directement collectées dans les pays.

Les données acridiennes d'archive des PV nigérienne, burkinabé et malienne seront saisies et mises en forme pour en tirer les informations pertinentes sur les opérations de traitements antiacridiens. Les signalisations acridiennes seront géoréférencées pour pouvoir être intégrées dans un SIG.

A l'issue de ce premier module d'activités, les organismes nationaux et régionaux concernés par la lutte antiacridienne et le suivi phytosanitaire en général de la région disposeront d'une base synthétique régionale de données valorisant l'ensemble des informations régulièrement collectées par les nombreux observateurs de terrain.

### **5.2.2. Construction et exploitation d'une base de données géoréférencées consacrée aux acridiens et autres insectes ravageurs du mil**

La base de données sera construite pour être implantée dans un SIG. Une étude préalable de zones clés (Niger, Burkina, Mali) permettra de tester sa faisabilité et son potentiel d'utilisation pour la lutte antiacridienne.

Trois groupes de couches d'informations sont envisagés dès à présent : données statiques, données d'archives et données dynamiques, collectées en temps réel parmi lesquelles on peut déjà citer :

Données statiques :

- limites administratives;
- sols;
- formations végétales;
- distribution des biotopes pour les acridiens;
- zones de production agricole;
- cartes climatiques (pluie, température, vents, ...).

Données d'archives :

- météorologie ( précipitations, T°, évaporation, position du FIT...);
- couverture végétale (images satellitaires);
- situations acridiennes : densité, espèces, opérations de lutte, (lieux, dates, ).

Données dynamiques, collectées en temps réel ou relatives à l'année en cours :

- précipitations décadaires (données sol et satellitaires);
- positions moyennes décadaires du FIT;
- évolution de la couverture végétale naturelle, état de développement et rendement des cultures;
- situation acridienne (infestations ou opérations de traitement).

L'exploitation des données à l'aide d'un SIG devrait permettre la mise en place d'outils performants de suivi phytosanitaire.



### 5.2.3. Etude bio-écologique des acridiens (travail de terrain)

L'inventaire des connaissances sur les points clés de la dynamique des populations qui ont une incidence majeure sur les effectifs et sur les infestations permet déjà d'identifier certains points qui nécessiteront des études bio-écologiques complémentaires.

En particulier :

- Le mode d'action et l'importance des facteurs de mortalité en saison sèche pour les oeufs diapausants (obtention de données quantifiées généralisables sur les effets sur le terrain des ennemis naturels dans le sol).
- Les modalités de déplacement des populations d'imagos en saison des pluies, la proportion des effectifs impliqués, la relation avec les mouvements du FIT, les axes de déplacement en privilégiant la compréhension du mouvement nord-sud de fin de campagne potentiellement plus dangereux pour les cultures à maturité. Il conviendra de relier localisation, densité, phénologie des populations acridiennes à l'évolution des conditions environnementales en fin de saison sèche (position du FIT et ses déplacements journaliers en particulier au cours des heures de vol des criquets en début de nuit).
- Le potentiel d'accroissement des effectifs au cours des générations successives de saison des pluies au travers du taux de réussite des populations larvaires essentiellement contrôlées par des facteurs environnementaux (pluies, couvertures végétales).
- La localisation des sites de ponte en fin de saison des pluies.
- La localisation des zones d'éclosion en début de saison des pluies et l'estimation des risques de pullulation à cette époque de l'année.

La validation de l'outil de compréhension et de décision à partir du SIG mentionné plus haut sera d'autant plus fiable qu'elle s'appuiera sur des informations obtenues directement du terrain et en complément des données d'archives.

Pour ce faire des travaux de terrain seront menés suivant des protocoles à préciser mais bénéficiant de l'expérience méthodologique de terrain importante des acridologues du projet notamment en matière de suivi des populations (captures, évaluation de densités, intensité des relevés en fonction de la période, etc, ...).

Un **réseau** de 5 stations d'observations permanentes sera établi au Niger. Leur localisation sera bien étudiée afin de fournir des données représentatives de l'évolution des populations de Criquets sénégalais au cours de l'année. Il sera tenu compte notamment de la latitude, des types de sol, de la couverture végétale et de l'utilisation humaine. Le degré d'accessibilité en toute saison sera également un critère de choix. **L'option proposée est de procéder à un nombre important de relevés sur ces sites pour suivre l'évolution des densités et des structures des populations acridiennes avec la dynamique des facteurs environnementaux.**

Des données complémentaires seront fournies par les services de protection des végétaux des autres pays du CILSS (données d'archives, abondance et déplacements des populations acridiennes en temps réel, etc...)

Deux grands types d'informations y seront récoltés :

- Evolution des populations larvaires et imaginales de criquets sénégalais (densité, structure, distribution....) en saison des pluies.
- Survie des oeufs diapausants : évolution du taux de mortalité au cours de la saison sèche sur des sites représentatifs où des femelles pondantes auront été déposées en fin de saison des pluies.

Ce module d'activités permettra non seulement d'éclairer certains points de l'écologie du Criquet sénégalais mais aussi la mise au point et la diffusion de méthodologie de terrain pour le suivi régulier des populations acridiennes. Un manuel de vulgarisation et des sessions de formation contribueront à la pérennisation d'acquisition de telles données par les agents de la protection des végétaux.

**Par ailleurs, les données quantitatives acridiennes (données d'archives et données collectées en temps réel) seront transcrites sur cartes et analysées en vue de déterminer les caractéristiques spatiales et temporelles des infestations. Ces couches seront ensuite croisées avec les couches environnementales pour analyser les relations entre les changements d'effectifs des sautériaux et les différents niveaux des facteurs environnementaux. L'objectif poursuivi à travers cet exercice est la mise au point d'une méthode de production de cartes de prévision des infestations.**

#### **5.2.4. Etude de l'utilisation raisonnée des pesticides**

On a vu plus haut que si le poids de la lutte antiacridienne dans l'ensemble des activités phytosanitaires est indéniable, il n'est pas possible actuellement de mener dans ce contexte une étude coût/bénéfice des opérations de protection des cultures contre les criquets. Par contre, l'identification d'indicateurs de dégâts potentiels liés à des densités et à des durées de présence de certains criquets ravageurs pour une culture donnée contribuerait à décider de l'opportunité d'une intervention phytosanitaire. De même une meilleure prise en compte du coût des types d'interventions phytosanitaires optimiserait la gestion des moyens de traitements en fonction des situations acridiennes rencontrées.

Pour ce faire les travaux suivants seront réalisés durant le projet :

- Introduction dans le SIG d'une couche d'information relative aux données d'archives des services de protection des végétaux sur les opérations de traitements (date, lieu, surface traitée, couverture végétale, moyens de pulvérisation, insecticides) permettant de caractériser dans l'espace et dans le temps les opérations de traitement contre les criquets.
- Introduction dans le SIG des données récoltées depuis plusieurs années au Niger et éventuellement ailleurs sur les dégâts dus aux sautériaux dans les cultures de mil.
- Campagnes de récolte, sur des stations représentatives, de données quantitatives sur les dégâts dans les cultures dus aux sautériaux et sur les espèces acridiennes en cause, leur densité, la durée et la période (dates) de présence dans les cultures considérées. Les dégâts dus à d'autres insectes ravageurs (mélodies, lépidoptères) dont les populations auront pu être suivies simultanément, seront également évalués.
- Expérimentations complémentaires en champ des potentialités de dégâts sur le mil des principaux acridiens ravageurs à des densités connues et dans différentes circonstances (état des champs, stade de l'insecte, météo, date, ...).

- Analyse des conséquences des dégâts acridiens pour les agriculteurs en différentes circonstances (importance des dégâts, pertes financières, charge de travail supplémentaire, mobilisations de moyens de lutte, gestion des stocks de céréales.).
- Estimation des coûts de différents types d'opérations de lutte antiacridienne, mise au point d'indicateurs de coûts.

Outre la mise en forme d'une base de données exploitable sur les opérations de traitements et sur les dégâts dus aux acridiens, ce module d'activités apportera aux responsables des opérations de lutte des indications plus précises quant au degré de nocivité potentielle d'une espèce et d'une densité donnée dans une culture dans un état donné. De plus, le choix de la méthode de traitement et des moyens à mettre en oeuvre sera facilité par une meilleure évaluation des coûts de chaque type d'intervention.

L'objectif final du projet serait d'élaborer des indicateurs simples de dégâts potentiels et de coûts des interventions et de les diffuser auprès des utilisateurs pour une gestion plus raisonnée des insecticides et des moyens de traitement.

### **5.2.5 Formation, vulgarisation, transfert de compétences**

Le projet développera des actions de formation et de vulgarisation parmi lesquelles on peut déjà citer :

- La formation de chercheurs nationaux à la recherche en acridologie appliquée.
- La formation pratique de techniciens faisant le suivi sur le terrain sur des sites pilotes.
- La participation à la formation des étudiants du DFPV (stage pratique et mémoire de fin d'étude).
- L'insertion des membres du projet dans l'équipe SIG télédétection d'AGRYMET qui assurera son encadrement dans ce domaine.
- La possibilité d'associer en cours de projet des stagiaires issus des composantes nationales, à l'élaboration et à la gestion du SIG qui se formerait ainsi à la pratique de cet outil.
- La publication régulière d'une lettre d'avancement des travaux expédiée à toutes les composantes du projet.
- La publication d'un manuel actualisé de prospection et de relevés de terrain.
- L'organisation d'ateliers d'information et de formation.

Une phase de transfert des résultats au niveau des composantes nationales (services météorologiques et services de protection des végétaux) doit être prévue à l'issue du projet. Dans cette optique, le document final du projet proposera une stratégie de mise à disposition des composantes nationales des résultats opérationnels du projet.

## **6. PRODUITS ATTENDUS A L'ISSUE DU PROJET**

Les produits attendus à l'issue du projet sont les suivants :

- Manuel de prospection et de relevés de terrain en acridologie.
- Cartes écologiques des sites pilotes.
- Cartographie des biotopes acridiens.
- Base de données opérationnelles sur les acridiens et leur environnement disponibles pour les services nationaux de protection des pays du Sahel.
- Chercheurs et techniciens sahéliens formés en acridologie (relevés de terrain et analyse et synthèse des données).
- Méthodologies de travail pour une utilisation de données pluridisciplinaires applicables à d'autres problèmes de ravageurs des cultures de la région tels que les insectes floricoles ou d'autres sautériaux (fera l'objet de notes techniques).
- Outil de compréhension des phénomènes d'infestation de criquets sénégalais et d'aide à la décision pour la gestion des moyens de lutte et pour leur utilisation plus efficace (fera l'objet de notes techniques).
- Elaboration d'une stratégie de mise à disposition des composantes nationales de l'outil de compréhension et de décision élaboré dans le cours du projet.

## **7. REPARTITION DES TACHES**

### **7.1 Coordination du projet**

L'exécution de l'étude est confiée à l'Unité Suivi Phytosanitaire du Programme Majeur Information du Centre AGRHYMET. Le Coordinateur travaillera sous la supervision du Responsable de cette Unité

### **7.2 Interventions techniques**

Les principaux partenaires du projet apporteront leurs compétences spécifiques selon la répartition suivante :

- CILSS / AGRHYMET : télédétection, agro-météorologie, suivi de végétation et des campagnes agricoles, analyse des données d'archives relatives à la lutte antiacridienne.
- CILSS / AGRHYMET / DFPV : conduite de stages pratiques ou d'expériences sur le terrain et d'élevage d'insectes, participation d'étudiants réalisant leur mémoire de fin d'étude.
- CIRAD (Prifas) : bio-écologie des acridiens, lutte antiacridienne.
- Service de protection des végétaux du Niger : collecte des données en temps réel et analyse des archives relatives à la lutte antiacridienne, identification précise des besoins en matière d'optimisation de la lutte contre les sautériaux, suivi de terrain.
- Services de protection des autres pays du CILSS : collecte de données complémentaires

- Des intervenants ponctuels sous forme de consultants seront pressentis notamment dans les domaines de la télédétection et de l'économie.

## **8. PLANNING PREVISIONNEL ( voir tableau en dernière page)**

## **9. MOYENS NÉCESSAIRES (voir budget en annexe)**

### **9.1 Ressources humaines**

#### a) au Centre AGRHYMET

- Coordonnateur du projet
- Acridologue CIRAD, 30 mois (15 à Niamey, 15 à Montpellier à charge du CIRAD)
- 1 entomologiste sahélien, 3 ans (CILSS-AGRHYMET)
- 1 spécialiste sahélien pour la construction et la gestion de bases de données et de SIG, 36 mois dans le cadre AGRHYMET
- Consultants divers (biologie, écologie, économie,...), 22h.mois (CILSS 12 mois et CIRAD 10 mois)
- 1 chauffeur permanent 36 mois
- 1 chauffeur temporaire 18 mois

#### b) au Niger

- 1 technicien
- 5 prospecteurs

#### c) dans les huit autres pays

Techniciens et prospecteurs dont le nombre reste à préciser

### **9.2 Moyens financiers**

#### a) Centre AGRHYMET

- salaires
- frais de déplacement
  - billets d'avion France -Afrique
  - Frais de transport et per diem pour déplacements régionaux
  - Per diem pour les déplacements à l'intérieur du Niger
  - frais de formation pour le personnel de terrain
- Fonctionnement
  - frais de fonctionnement (locaux, communication, énergie, appui administratif.... )
  - frais d'organisation de réunions internes et d'un atelier de restitution
  - carburant,
  - envoi de matériel et dédouanement
  - entretien matériel,
  - papeterie
- Matériel

- deux voitures tout terrain à Niamey
- 3 ordinateurs dont au moins 1 portable avec périphériques
- logiciels (SIG, statistique, etc .....)
- petit matériel de labo (cages d'élevage, pondeurs, loupe binoculaire etc..)
- équipement de bureau
- Divers
- prestation de service : travaux photos, reprographie, documentation, édition,...

#### b) au Niger

- Frais de déplacement pour techniciens et prospecteurs
- 5 motos (+ carburant, entretien, assurance)
- 5 GPS
- 5 lots de matériel de prospection (filets fauchoir, compteur à main, bocaux à cyanure, etc..)
- papeterie

#### c) dans les huit autres pays

Une provision financière est prévue pour couvrir les frais de participation au projet. Elle sera utilisée pour l'achat de matériel (5 GPS et 5 lots de matériel de prospection par pays) et les frais de fonctionnement du personnel PV en rapport avec les prospections



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMATOBI C.I (1985) Oviposition preference and the influence of cultivation on egg hatching in *Oedaleus senegalensis*. Samaru K. Agricult. Res, 3, 81-85
- BATHIA D.R et al (1962) Swarming of *Oedaleus senegalensis* in Rajasthan (India) Indian J. Entomol. 24, 222
- BERGES.J.C et al (1991) Apport de la télédétection spatiale à l'identification des zones favorables pour le criquet sénégalais au Sahel. Veille climatique satellitaire, 40 : 25-33.
- BURT P.J.A, J. Colvin et S.M. Smith (1995). Remote sensing of rainfall bysatellite as an aid to *Oedaleus senegalensis* (Orthoptera: Acrididae)control in the Sahel. Bulletin of Entomological Research 85,455-462.
- BRYCESON, K.P et al (1986) An analysis of the 1984 locust plague in Australia using multitemporal Landsat multispectral data and a simulation model of locust development-Ecosyst and environment 87-102
- CHEKE R.A (1990) A migrant pest in the Sahel : the senegalese grasshopper *Oedaleus senegalensis* K Trans. R. entom. Soc. London. 328, 539-553.
- COOP L.B. & CROFT B.A. (1993) Pearl millet injury by five grasshopper species (Orthoptera : Acrididae) in Mali. J. Econ. Entomolo. 86, 891- 898.
- de VISSCHER M.N., KYIENDREBEOGO P. & BALANCA G. (1995) Essai de caractérisation des opérations de lutte chimique contre les sautériaux au nord du Burkina Faso (1990-1992).Tropicultura 13(4): 155-159
- DIOP.T (1987) Contribution à l'étude de la dynamique des populations d'acridiens dans la vallée du fleuve Sénégal. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie. Paris VI. 154 p.
- DIOP. T (1993) Inventaire commentée de la bibliographie sur le criquet sénégalais *Oedaleus senegalensis* K (non publié).
- DIOP. T (1995) Effets de la photopériode sur l'induction de la diapause embryonnaire du criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis* K. J. Afr. Zool. 161-172.
- FAO (1997) Emergency prevention system (EMPRES) for transboundary animal and plant pest and diseases (Desert locust component) Improving Monitoring Desert locust habitat by remote sensing. FAO (Roma) AGP: GCP/INT/596/BEL. 25 p.
- FISHPOOL L.D (1982) The ecology of the west african grasshopper fauna of the sahel and sudan savanna with special référence to *Oedaleus senegalensis*. Ph. D thesis, University of London

- HIELKEMA J.U (1981) A new technology for an old problem ITC Journal
- JAGO N.D (1983) Light trap sampling of the grasshoppers *Oedaleus senegalensis* K and other species in West Africa : a critique. in Proceedings 2nd triennial meeting Pan American Acridological society. Bozeman, Montana USA. 21-25 July 1979.
- JAGO N.D.(1993) Methodes d'évaluation des pertes de récolte dans le mil. NRI (Chatam) Bulletin 62F. 65 p
- KOGO S.A. et KRALL S. (1997) Yield losses on pearl millet panicles due to grasshoppers: a new assessment method in KRALL, PEVELING & BA (eds) New strategies in Locust control Birkhauser verlag (Basel) 415 - 423.
- KONE S (1980) Captures nocturnes d'insectes en relation avec les conditions météorologiques. Mémoire de fin d'étude non publié. Centre AGRHYMET Niamey.
- LAUNOIS M (1978) Modélisation écologique et simulation opérationnelle en acridologie. Application à *Oedaleus senegalensis* K. Minist coop, Paris et GERDAT, Montpellier.
- LAUNOIS-LUONG M. H. & LAUNOIS M., 1997. Organisation de la surveillance et de la lutte antiacridienne au Sahel. Rapport final. D.557, CIRAD-GERDAT-PRIFAS : Montpellier (France). 301 p.
- LECOQ M (1978) Biologie et dynamique d'un peuplement acridien de zone soudanienne en Afrique de l'Ouest. Ann. Soc. Ent. Fr. (NS) 4, tome 14.
- POPOV G, (1980 ) Studies on oviposition egg development and mortality in *Oedalous senegalensis* in the Sahel. COPR Miscellaneous Report n° 53, 1-48
- POPOV G (1987) Guide FAO de prospection d'oethèques (particulièrement de *Oedaleus senegalensis*. FAO (Rome) - 14 p et annexes. Doc multigr.
- SARAIVA A.C (1962) Plague locusts *Oedaleus senegalensis* and *schistocerca gregaria* in the Cape Verde Islands. Estudios agron 3, 61-89
- STONEHOUSE J.M., GBONGBOUI C., de GROOT A., LOMER C., LY S., MAIGA I. et TIJANI (1997) Grasshopper control in the Sahel : farmer perceptions and participation. Crop protection 16 (8) 733 - 741
- TAPPAN G.G. et al (1991) Monitoring grasshopper and locust habitats in Sahelian Africa using GIS and remote sensing technology.
- TUCKER C.J et al (1985) The potential of remote sensing of ecological conditions for survey and forecasting desert locust activity. Int. Journal remote sensing, vol.6,n°1, 127-138
- VENKATESH M.V et al (1971) Influence of rainfall on the egg diapause of *Oedaleus senegalensis* . Prant Prot bull 23, 20-27
- VOSS F et DREISER U (1993) Mapping of desert locust and other migratory pests habitats using remote sensing techniques. Technical University Berlin, Institute of Geography.
- WRIGHT D.E.(1989) Crop loss assessment feasibility study - Report on mission to Morocco and Mali and draft project. FAO project ECLO/RAF/023/AFB. 103 p.

## 11. LISTE DES SIGLES

ACMAD African centre for meteorological applications development  
AGRHYMET Centre régional de formation et d'application en agrométéorologie et hydrologie opérationnelle pour les pays du Sahel  
CBLT Commission du bassin du lac Tchad  
CE Commission européenne  
CILSS Comité interétats de lutte contre la sécheresse au Sahel  
CIRAD Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement  
DFPV Département de formation en protection des végétaux (Centre AGRHYMET)  
FAC Fond d'Action de Coopération  
FIT Front intertropical  
IRAT Institut de recherche en agronomie tropicale  
METEOSAT Satellite météorologique géostationnaire à basse résolution  
NOAA National oceanic and atmospheric administration  
OCLALAV Organisation commune de lutte antiacridienne et de lutte antiaviaire  
Prifas Equipe d'acridologie opérationnelle du Programme Protection des cultures du Cirad-Département AMIS)  
PV Organismes d'état de Protection des végétaux  
SIG Système d'information géographique  
UCTR-PV Unité de coordination technique régionale en protection des végétaux (CILSS)